



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH
Escola d'Enginyeria de Barcelona Est

TREBALL FI DE GRAU
Grau en Enginyeria Mecànica

**Estudi del flux viscos a traves d'un conducte anular
excèntric.**



Autor:	Salvador Balle Llabrés
Director:	Esteve Codina Macia
Co-Director:	Robert Castilla
Convocatòria:	Maig de 2019

AGRAÏMENTS :

Per començar vull agrair al Labson que m'hagi permès realitzar tot aquest projecte a les seves instal·lacions i al finançament per a la seva realització ;

Al professor Esteve Codina pel seu suport i assessorament i per oferir-me la possibilitat d'aquest treball.

I finalment als Jaume Bonastre, pare i fill, i encarregats del laboratori, sense ells aquest treball no hagués sigut possible.

Índex

1	Memòria.....	5
1.1	<i>Resum</i>	5
1.1.1	Objecte del treball.....	5
1.1.2	Abast del treball.....	5
1.1.3	Requeriments i utilitat del treball	6
1.2	<i>Introducció</i>	7
1.2.1	Que es l'amortiment?.....	9
1.2.2	Tipus d'esmoreïdors en actuadors lineals	9
1.2.3	Avantatges i inconvenients de cada tipus	11
1.2.4	Descripció de l'esmoreïment a estudi.....	11
1.3	<i>Model teòric bàsic.....</i>	12
1.3.1	Principis de funcionament.....	12
1.4	<i>Desenvolupament.....</i>	17
1.4.1	Necessitats i Requeriments	17
1.4.2	Prototip pistó	18
1.4.3	Prototip màquina.....	19
1.4.4	Banc experimental	26
1.4.5	Metodologia experimental	34
1.4.6	Validació/Calibratge	35
1.5	<i>Resultats experimentals.....</i>	36
1.6	<i>Conclusions</i>	52
1.6.1	Conclusions tècniques.....	52
1.6.2	Conclusions pròpies de l'estudiant	54
1.6.3	Activitats futures i recomanacions.....	55
2	Bibliografia	56

1 Memòria

1.1 *Resum*

Aquest treball sorgeix de la problemàtica associada a un altre projecte portat a terme al mateix LABSON, en aquell treball s'estudiava el comportament d'un pistó (un actuator lineal de simple efecte) en un conducte anular. En aquest treball s'apreciava que en la seva carrera aquest pistó es veia forçat a posicions excèntriques degut a les forces a que es veia sotmès. Aquest pistó tenia un disseny ranurat per a produir un efecte esmorteïdor. Per tot això es va decidir fer un estudi per a estudiar aquest efecte de l'excentricitat sobre el comportament del fluid.

L'objectiu primari darrere d'aquest projecte seria trobar una manera més barata i eficient d'esmoreir el moviment d'un pistó al seu final de carrera, per aquest objectiu es disposa d'un pistó ranurat amb ranures de profunditat i amplada constants a un dels seus costats mentre que a l'altre les ranures són de la mateixa amplada (constant) però d'una profunditat variada (veure 1.4.1 Prototip), d'aquesta manera es compararà entre les dues per veure si la nova geometria millora les prestacions anteriors.

1.1.1 Objecte del treball

La finalitat d'aquest treball es poder recopilar totes les dades necessàries per a estudiar com afecta l'excentricitat al comportament del fluid, per tal de fer això s'haurà de idear un sistema per a prendre mesures en diferents posicions axials (al llarg de la carrera del pistó) i a diferents excentricitats, dissenyar aquest sistema, fabricar prototip, dissenyar l'experiment i la seva metodologia (circuit hidràulic, circuits elèctrics, adquisició de dades, etc) i també realitzar l'experiment, obtenint les dades desitjades, comparar l'esmortiment produït per les dues geometries diferents, fer una petita validació i treure'n les primeres conclusions.

1.1.2 Abast del treball

En aquest treball només avaluarem l'efecte d'amortiment degut a pistó de ranures, no entrarem en altres sistemes amortidors, es prendran mesures només en estàtic i es trauran conclusions sobre els resultats, no obstant no intentem definir completament les lleis que regeixen aquest comportament, sinó tan sols donar eines perquè més tard això es pugui fer.

1.1.3 Requeriments i utilitat del treball

Requeriments:

-Necessitem un sistema que sigui capaç de prendre mesures al llarg del recorregut axial del pistó, les més interessants serien en les que coincideixin les ranures del pistó amb el centre del racor de sortida del fluid. També seria interessant poder fer mesures en les que la posició de dues ranures fos equidistant respecte a l'eix del racor de sortida.

-Es necessari també poder prendre mesures en varies posicions verticals (excèntriques) per a cada una de les posicions axials abans esmentades, com mes millor.

- Es imperatiu que el sistema permeti la major precisió possible de les mesures a prendre.

- Volem també que sigui un sistema que permeti la repetibilitat.

- Pressupost màxim. 15.000 € , intentar que sigui el més baix possible.

Utilitat del treball:

Aquest treball ha de servir per a veure si la nova geometria a estudi millora l'amortiment d'una manera efectiva, ens ha de mostrar una comparativa entre les dues geometries a estudi i a mes ens ha d'aportar una quantitat de dades sobre el comportament de fluid que poden ser molt útils per a futurs dissenys d'esmoreïment per ranures.

1.2 Introducció

La hidràulica és la branca de la física que estudia el comportament dels líquids en funció de les seves propietats específiques. És a dir, estudia les propietats mecàniques dels líquids depenent de les forces a les que són sotmesos. Tot això depèn de les forces que s'interposen amb la massa i a les condicions a què estigui sotmès el fluid, relacionades amb la viscositat d'aquest.

La oleohidràulica és una branca de la hidràulica. El prefix "oleo" fa referència a fluids derivats bàsicament del petroli com, per exemple, l'oli mineral. En essència, la oleohidràulica és la tècnica aplicada a la transmissió de potència mitjançant fluids incompressibles confinats.

L'oleohidràulica té múltiples aplicacions en tot l'àmbit industrial, s'utilitza sobre tot en la construcció i disseny de màquines industrials de tot tipus com des de grans premses fins a elevadors de portes de garatge, passant per qualsevol sistema que exigeixi moviment; així com a vehicles com grues industrials i control d'aires condicionats de turismes. Els seus principals avantatges són la seva elevada potència i el fet que treballa amb fluids considerats incompressibles cosa que permet la immediata transmissió de la força cap a la seva aplicació.

Els sistemes hidràulics són elements compactes que disposen de dispositius que permeten un fàcil control, que fan que el seu ús sigui precís i segur. Controlant així de manera fàcil tant la força (amb vàlvules reguladores de pressió) amb la que actuen, com la velocitat i posició d'un actuator que serà el que realitzarà el treball mitjançant el control a través de vàlvules direccionals i reguladores de cabal.

La oleohidràulica és utilitzada en la majoria de casos per a acabar controlant el comportament d'un o varis actuadors lineals hidràulics, sent especialment útils per la seva grandària compacta, precís control i la gran capacitat de força que disposen. Una de les principals problemàtiques en l'ocupació dels actuadors lineals és la necessitat de reduir la velocitat de desplaçament del pistó quan s'aproxima al seu final de carrera.

Abans d'entrar a dins d'aquest factor (esmoreïment) donarem una breu explicació d'un circuit hidràulic i dels seus components:

Un circuit hidràulic és un conjunt d'elements pel qual circula un fluid hidràulic (generalment oli) que reuneix les següents condicions: és impulsat per una bomba hidràulica, que recull el fluid d'un dipòsit, i l'impulsa per unes canonades, on es realitza un control, mitjançant vàlvules i altres elements de control, per acabar en uns elements que transformen el cabal hidràulic en moviment (actuadors), i per mitjà d'altres canonades retorna al dipòsit.

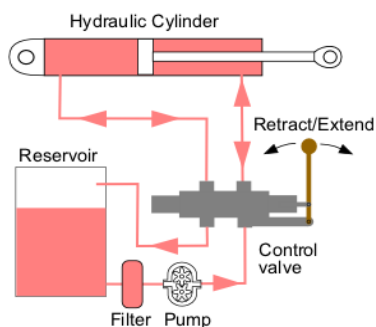


Figura 1.1 Esquema hidràulic

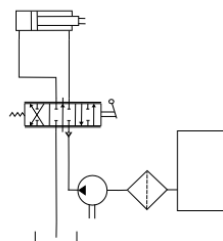


Figura 1.2 Circuit hidràulic

- Fluid hidràulic

El fluid hidràulic, normalment és un oli mineral, ja que és l'únic fluid que pot reunir la sèrie de requisits que es detallen.

- Transmetre la pressió.
- Lubrificar les parts mòbils dels equips.
- Refrigerar, és a dir, derivar la calor generada per la transformació d'energia.
- Amortitzar les vibracions causades pels pics de pressió.
- Protegir contra la corrosió.
- Eliminar partícules abrasives.
- Transmetre senyals.

Es poden classificar segons la norma Deutsches Institut für Normung 51524 i 51525.

- Bomba hidràulica

És l'element principal de tot circuit hidràulic, ja que és el que aporta el cabal suficient perquè funcioni. Aquí hi pot haver un equivoc molt sovint, ja que les bombes donen cabal, i suporten pressió. En tota bomba hi ha una sèrie de paràmetres que cal conèixer:

- Pressió màxima suportada.
- Cabal que entrega en funció de la velocitat a què actua.
- Revolucions màximes a les que treballa.
- Volum intern per volta.

Per altra banda, i com és fàcil suposar, existeixen diferents tipus de bomba, segons el seu funcionament, i avui en dia les que més es fan servir són les d'aletes, en què unes aletes xuclen i impulsen l'oli pel circuit, i les de pistons, ja que aquestes últimes poden ser de cabal variable.

- Elements de control

Anomenats també vàlvules, que s'encarreguen de controlar la pressió, el cabal o de distribuir l'oli segons la maniobra que ens interessi. La vàlvula reguladora de pressió, és una vàlvula que protegeix tot el circuit contra les altes pressions que el podrien destruir.

Quan interessi reduir el cabal en el circuit intercalarem una vàlvula reguladora de cabal. De la mateixa manera quan es vol distribuir el circuit intercalarem una vàlvula distribuïdora o de vies, i el seu accionament serà normalment, per bobines elèctriques.

I per últim, , farem servir vàlvules direccionals, de tancament o de no retorn, segons interessi.

- Elements de maniobra

Dintre dels elements de maniobra tenim principalment dos tipus de mecanismes:

- Cilindres hidràulics, que transformen en moviment rectilini l'energia del circuit. En totes les seves versions, de simple efecte, doble efecte, amb amortització final, etc.

- Motors Hidràulics, que transformen l'energia en moviment circular. També existeixen moltes versions, ja que tan sols cobreixen angles o que tenen cabal variable.

- Dipòsit

Part molt important del circuit, ja que no tan sols conté el fluid, si no que a més serveix per a la seva adequació, eliminació d'aire, escumes, refrigeració, i d'altres. Al tub d'aspiració de la bomba acostuma a haver-hi un filtre per l'eliminació de les partícules produïdes pel desgast.

1.2.1 Que es l'amortiment?

Podem definir l'amortiment o esmorteïment com a la capacitat d'un sistema o cos per dissipar energia cinètica en un altre tipus d'energia. Típicament els amortidors dissipen l'energia cinètica en energia tèrmica i / o en energia plàstica (atenuador d'impactes), és a dir, la funció d'un amortidor és rebre, absorbir i mitigar una força, ja sigui perquè s'ha dispersat o perquè l'energia s'ha transformat de manera que la força inicial s'hagi fet menor. Com millor sigui l'amortiment de la força inicial, menor serà la força rebuda sobre el punt final.

L'amortiment és un paràmetre fonamental en el camp de les vibracions, també en el desenvolupament de models matemàtics que permeten l'estudi i anàlisi de sistemes vibratoris, com ho són: estructures metàl·liques, motors, maquinària rotativa, turbines, automòbils, etc. Això va encaminat a la teoria que tot sistema vibratori (regularment sistemes mecànics) té la capacitat de dissipar energia. Per al control de vibracions i impactes en maquinària s'utilitza el concepte d'amortiment com una tècnica per a dissipar energia del sistema, manipulant així l'amplitud de vibració en el sistema i altres paràmetres d'estudi.

En el cas que ens ocupa que es el de l'esmorteïment en actuadors lineals oleohidràulics el que ens interessa es forçar la desacceleració de l'actuador en els punts propers al seu final de carrera, tant per a evitar xocs mecànics sobre els elements constitutius d'aquest, conservant la seva integritat mecànica al llarg de la seva vida útil, com també perquè en molts casos l'aplicació on s'empra l'actuador pot requerir una suau finalització del seu recorregut, ja sigui per motius de confort o seguretat dels elements que desplaça l'actuador.

Com es veurà, hi ha diversos dispositius que permeten realitzar aquesta operació, on els més interessants per a nosaltres seran els que permeten aconseguir-ho sense la intervenció d'elements externs a l'actuador hidràulic, existint diferents dissenys senzills integrats internament en l'actuador que permeten fer-ho de forma eficaç.

1.2.2 Tipus d'esmorteïdors en actuadors lineals

Si seguim la definició de IMAMOTER (2005) un sistema d'esmortiment seria tot aquell sistema que es capaç de desaccelerar i parar el moviment d'un cilindre en una posició intermèdia o final del seu recorregut amb la finalitat de protegir de danys el propi cilindre i el seu entorn, entenent "danys" en un sentit ampli, tant des del sentit mecànic, principalment causat per vibracions y/o fatiga mecànica provocades per una aturada sobtada en forma d'impacte, com també en un sentit funcional, afectant al confort de l'aplicació o de l'usuari en el moment de l'aturada.

Seguint aquesta definició podem dividir en tres grans grups segons l'estratègia a seguir per a aconseguir-ho:

- Mitjançant un dispositiu extern, anomenat *descelador*, que adequadament controlat permet frenar i aturar el cilindre a la posició desitjada.
- Utilitzant un bucle de control sobre el propi sistema de subministrament del fluid oleohidràulic, això s'aconsegueix mitjançant el control de les parts constituent de l'esquema hidràulic, actuant normalment sobre vàlvules de control direccional o sobre algun altre dispositiu intern del circuit.
- La tercera opció es mitjançant un dispositiu intern, integrat en el propi cilindre, per a frenar i aturar el cilindre a les seves posicions extremes. Per a realitzar aquests tipus d'amortiment s'afegeixen nous components a dintre del cilindre o be es mecanitzen algunes parts per a canviar la seva geometria, ja sigui de forma permanent o variable.

Hi ha grans diferències entre els tres sistemes anteriorment presentats sent algunes de les més significatives que les dues primeres permeten l'esmorteïment a qualsevol punt de la carrera del pistó,

mentre que el tercer només es capaç d'actuar sobre els seus finals de carrera, com també que el segon i tercer sistemes usen principalment els components propis del sistema hidràulic, regulant la pressió i el flux de fluid que circula a través del cilindre, mentre que el primer necessita un sistema extern, que no forma part originalment del circuit hidràulic del cilindre.

Nosaltres ens centrarem només en el tercer apartat, es a dir, aquells que usen elements integrats en el cilindre, actuant només en els finals de carrera, a dins d'aquest grup podem fer també tres subdivisions:

- 1. La primera i més habitual és instal·lant dintre del cilindre del pistó un cos que interacciona amb un allotjament situat també en el cos del cilindre. Si instal·larà també usualment una vàlvula antiretorn i una vàlvula giratòria regulable. Aquest sistema funciona perquè es restringeix el pas del fluid segons el cos introduït i l'allotjament mitjançant l'ús de les vàlvules és possible regular el moviment del pistó en tots dos sentits, tant la capacitat d'amortiment com aconseguir un adequat arrencada en el sentit contrari.

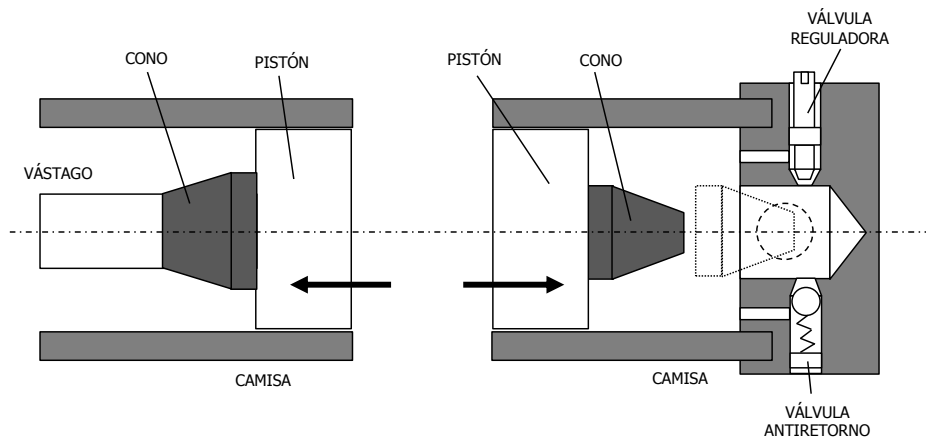


Figura 1.3 Amortiguació vastag

- 2. El segon grup el conformen aquells sistemes que es basen simplement en que quan el pistó arriba a l'altura de l'orifici de descàrrega del fluid aquest redueix la superfície de sortida disponible per al fluid, generant així una major resistència i generant efectes de frenada al sistema, variant la geometria es poden aconseguir diversos canvis i ajustos en l'efecte esmorteïdor.

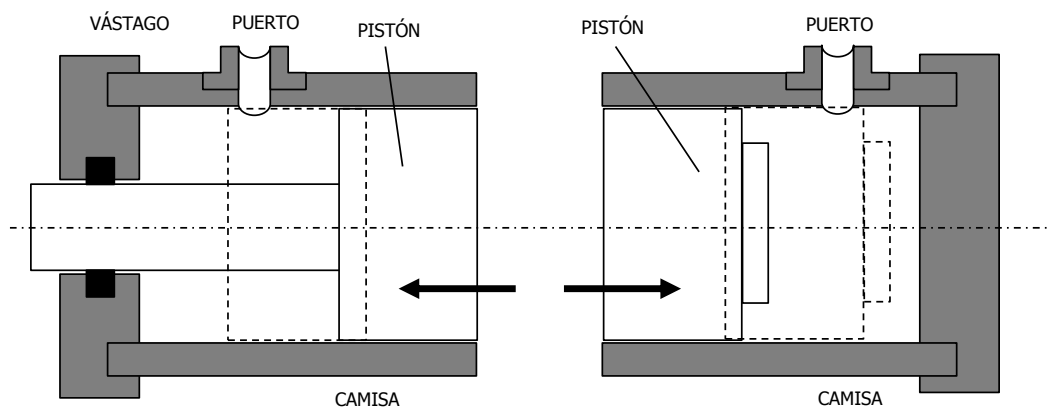


Figura 1.4 Amortiguació ranures

- 3. El tercer subgrup el conformarien totes aquelles solucions que no entren als punts 1 i 2, es tracta de múltiples solucions de geometries diverses que no tenen característiques comunes entre si.

1.2.3 Avantatges i inconvenients de cada tipus

1. Aquests sistemes requereixen un cert nombre de components, amb mecanitzat relativament complex, afectant tant al pistó com al cos del cilindre. Això implica costos elevats, això sí, permet el control tant a la frenada al final del moviment com de l'arrencada al inici d'aquest.
2. Aquest tipus de solució disposa d'una geometria molt més senzilla que l'anterior, el que facilita la seva mecanització i, per tant, minimitza el seu cost, generalment afectant a la geometria únicament del pistó. D'altra banda cal tenir en consideració la asimetria pròpia del sistema, la qual pot tenir implicacions importants en la seva efectivitat, fiabilitat i durabilitat.
3. Al ser de diverses formes i geometries no es poden generalitzar, cada solució aporta uns avantatges i inconvenients propis, dependents de la seva geometria única.

1.2.4 Descripció de l'esmoreïment a estudi

En el nostre cas estudiarem únicament el tipus 2 de les solucions anteriorment mencionades, estudiarem concretament el tipus 2 d'esmoreïment per pistó ranurat.

Es a dir que serà la superposició del pistó amb l'orifici de sortida del fluid el que ens donarà l'amortiment, concretament compararem dos tipus de geometria ranurada en el pistó, una que anomenarem de ranures igual on totes les ranures estan a la mateixa distància, tenen la mateixa amplada i profunditat. I una altra on les ranures també tenen la mateixa amplada i distància entre elles, però amb una profunditat variada entre elles (per més informació veure apartat 1.4.2 Prototip pistó).

1.3 Model teòric bàsic

1.3.1 Principis de funcionament

A continuació farem un breu resum de les lleis, principis i conceptes de l'hidrostàtica necessaris per a poder entendre de forma més clara aquest projecte.

El primer que farem serà repassar el principi més bàsic de l'hidrostàtica, el qual diu que si tenim un fluid la pressió d'aquest només dependrà de l'altura de la columna de líquid i de la seva pròpia densitat. Seguint la següent fórmula:

$$p = h \cdot \rho \cdot g$$

Llei de Pascal:

D'altra banda, la llei de Pascal postula que la pressió generada quan apliquem una força en un fluid estàtic afecta en totes direccions i tots els angles fins que la pressió actua sobre la superfície que limita el volum d'aquest propi fluid. Aquesta llei es pot resumir en la fórmula següent:

$$F = P \cdot S(\text{Superfície})$$

Imaginem el següent cas:

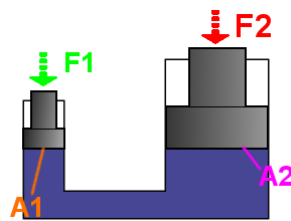


Figura 2.1 Elevador hidràulic

Si el fluid està tancat a la cambra, aquest estarà tot sotmès a la mateixa pressió, considerant el fluid incompressible i aplicant Pascal podem escriure la següent relació de forces.

$$F_1 = P \cdot S_1$$

$$F_2 = P \cdot S_2$$

Veiem clarament que la força només depèn de la superfície. Si assimilem aquest cas al d'un cilindre veiem que quan l'oli entra a la cambra aquest tendirà a ocupar tot el seu volum fins omplir-lo fent pressió en totes les superfícies. Un cop plena, la pressió de la cambra multiplicada per la superfície del pistó serà la força que provocarà el moviment del pistó. La llei de Pascal expressa perfectament el comportament del fluid quan es troba en estat estàtic.

El concepte que ens relacionarà la velocitat del pistó (quan aquest avanci) amb la quantitat d'oli introduït al cilindre és la llei de la continuïtat, també coneguda com a conservació de la quantitat de fluid o conservació de la massa.

Conservació de la massa:

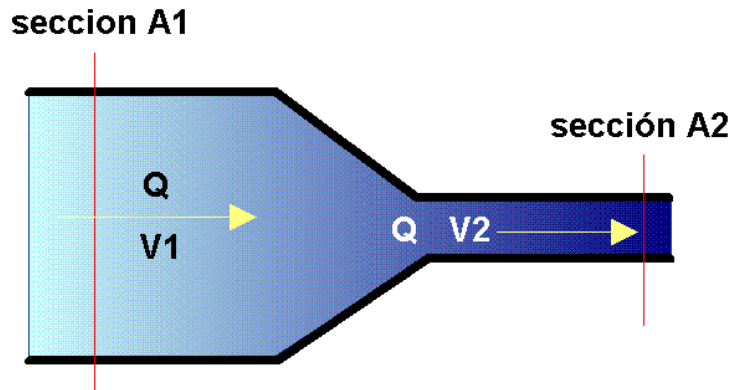


Figura 2.2 conservació massa

Aquesta equació es resumeix en que si tenim un fluid incompressible i un volum finit la quantitat de fluid per unitat de temps s'ha de conservar, o dit d'una altra manera, el que entri i passi a través de la superfície 1 ha de ser igual que el que surt per la superfície 2, cosa que implica necessàriament que el fluid ha d'haver-se accelerat (ja que la secció s'ha reduït), seguint:

$$V_1 \cdot A_1 = V_2 \cdot A_2$$

D'aquí es dedueix directament que si volem esmorteir un pistó haurem de variar el cabal d'almenys una de les cambres.

A més de la conservació de la massa hi ha un altra fenomen de conservació molt important per a nosaltres:

Conservació de la quantitat de moviment (també coneguda com a Navier-Stokes):

partim de la segona llei de Newton que postula que la suma de totes les forces que actuen en un cos és igual a la massa per l'acceleració d'aquest mateix. Aplicant-ho a un fluid obtenim la següent equació:

$$\frac{D}{Dt} \iiint (\rho U) dV = \int_A P \cdot dA + \iiint \rho \cdot f dV$$

Les forces que actuen en un cos es divideixen bàsicament en les forces superficials i les forces volumètriques. S'observa que la integral de volum de la densitat i la velocitat mostren el factor de massa per acceleració.

Utilitzant el tensor de tensions transformarem la integral de superfície del volum diferencial en un producte de matriu-vector.

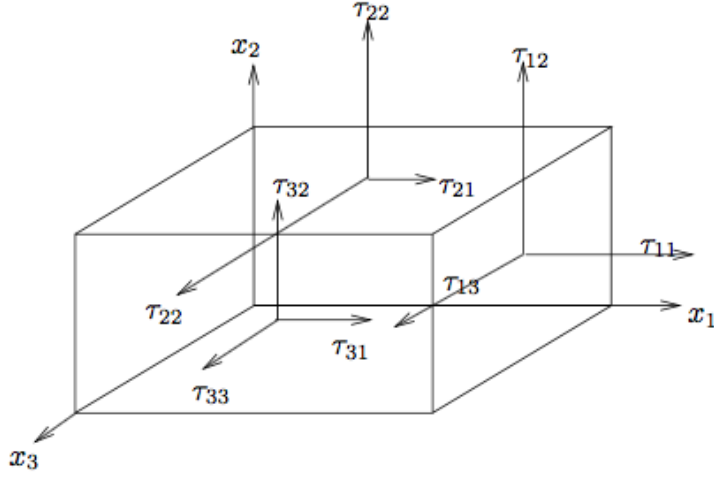


Figura 2.3 Volum diferencial

La pressió a la cara del cub seria:

$$P_1 = \tau_{11} \cdot n_1 + \tau_{12} \cdot n_2 + \tau_{13} \cdot n_3$$

Podem substituir el vector pressió per:

$$\vec{P} = \begin{pmatrix} \tau_{11} & \tau_{12} & \tau_{13} \\ \tau_{21} & \tau_{22} & \tau_{23} \\ \tau_{31} & \tau_{32} & \tau_{33} \end{pmatrix} \cdot \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \\ n_3 \end{bmatrix}$$

Si ho substituïm a l'equació i apliquem el teorema de divergència a l'integral de superfície obtenim:

$$\frac{D}{Dt} \iiint_V (\rho U) dV = \iiint_V \nabla \cdot \tau dV + \iiint_V \rho \cdot f dV$$

Com el volum és arbitrari, per a qualsevol volum podem transformar l'equació anterior de la següent manera:

$$\frac{D(\rho U)}{Dt} = \nabla \cdot \tau + \rho \cdot f$$

Utilitzant la derivada material i la conservació de la massa podem arribar a :

$$\frac{\rho DU}{Dt} = \nabla \cdot \tau + \rho \cdot f$$

Com ja hem dit considerarem el nostre fluid com a newtonià i totalment incompressible. Segons aquestes propietats com que el fluid és viscos pateix esforços normals i tangencials, per aquest motiu el tensor de tensions pren la següent forma:

$$\tau = -p\delta + \lambda\delta\nabla \cdot \mathbf{U} + \mu \cdot (\nabla\mathbf{U} + (\nabla\mathbf{U})^T)$$

En l'equació anterior es pot observar que quan el fluid està en repòs l'esforç només és degut per la pressió en les 3 direccions del volum diferencial. Com que el fluid és incompressible, mitjançant la conservació de la massa, es demostra:

$$\nabla \cdot \mathbf{U} = 0$$

De tal manera que el tensor de tensions del fluid queda com :

$$\boldsymbol{\tau} = -p\boldsymbol{\delta} + \mu \cdot (\nabla \mathbf{U} + (\nabla \mathbf{U})^T)$$

Si ho introduïm a l'equació de Navier-Stokes:

$$\frac{\rho D\mathbf{U}}{Dt} = \nabla \cdot (-p\boldsymbol{\delta} + \mu \cdot (\nabla \mathbf{U} + (\nabla \mathbf{U})^T)) + \rho \cdot \mathbf{f}$$

I considerem les forces externes:

$$\frac{\rho D\mathbf{U}}{Dt} = -\nabla p + \mu \nabla^2 \mathbf{U} + \mathbf{F}$$

Les equacions de Navier-Stokes en cartesianes es redueixen a:

$$\begin{aligned} \rho \left(\frac{du}{dt} + \frac{u \cdot du}{dx} + \frac{v \cdot du}{dy} + \frac{w \cdot du}{dz} \right) &= -\frac{dp}{dx} + F_x + \mu \left(\frac{d^2u}{dx^2} + \frac{d^2u}{dy^2} + \frac{d^2u}{dz^2} \right) \\ \rho \left(\frac{dv}{dt} + \frac{u \cdot dv}{dx} + \frac{v \cdot dv}{dy} + \frac{w \cdot dv}{dz} \right) &= -\frac{dp}{dy} + F_y + \mu \left(\frac{d^2v}{dx^2} + \frac{d^2v}{dy^2} + \frac{d^2v}{dz^2} \right) \\ \rho \left(\frac{dw}{dt} + \frac{u \cdot dw}{dx} + \frac{v \cdot dw}{dy} + \frac{w \cdot dw}{dz} \right) &= -\frac{dp}{dz} + F_z + \mu \left(\frac{d^2w}{dx^2} + \frac{d^2w}{dy^2} + \frac{d^2w}{dz^2} \right) \end{aligned}$$

Equació de Bernulli:

Bernulli ens diu que quan un fluid es mou la seva energia es pot dividir en tres grups: cinètica, potencial i de pressió. Cada una d'elles es pot expressar de la següent manera:

$$\text{Energia Cinètica} = M \cdot \frac{v^2}{2}$$

$$\text{Energia Potencial} = M \cdot g \cdot h$$

$$\text{Energia de Pressió} = P \cdot V$$

I tot això ho podem expressar amb la forma general:

$$E_{\text{total}} = \rho \frac{v^2}{2} + \rho \cdot g \cdot h + P$$

PÈRDUES DE CÀRREGA

Finalment introduïrem el concepte de pèrdua de càrrega a través de plaques paral·leles en repòs. Encara que la nostra geometria és cilíndrica podem simplificar-la a geometria plana ja que els diàmetres són relativament petits.

Suposant un flux completament desenvolupat, estable, laminar i amb velocitat unidimensional i aplicant l'equació de Navier-Stokes en l'eix de desplaçament, integrant i aplicant la llei de Poiseuille obtenim:

$$u = \frac{dP}{dx} \frac{1}{2\mu} \cdot \left(y^2 - \frac{h^2}{4} \right)$$

Si calculem el cabal de la geometria de la imatge (sempre que $b \gg h$) el càlcul queda com :

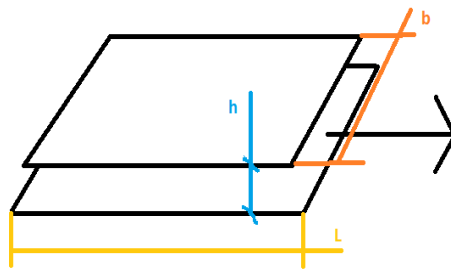


Figura 2.4 Geometria de plaques planes

$$Q = b \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} u \cdot dy$$

Substituint i integrant obtenim:

$$Q = \frac{1}{12\mu} \frac{\Delta P}{L} \cdot b h^3$$

Aquesta serà l'equació més important per a nosaltres.

1.4 Desenvolupament

En aquest apartat ens centrarem en el procés de creació i disseny de totes i cada una de les parts necessàries per a la posterior realització de l'experiment i l'obtenció de totes les dades requerides. Tenint en compte les necessitats i requeriments proporcionades per el client (LABSON) dividirem aquest apartat en tres grans grups:

- Pistó: En aquest apartat ens centrarem en definir com serà el pistó (element més significatiu) i la mecanització que se li haurà de donar, seguint les instruccions i requeriments rebuts.
- Màquina: En aquest apartat aportarem varies idees de diferents dissenys de màquina que ens permetin situar el pistó en cada una de les posicions desitjades a on estudiar el comportament del sistema i realitzar les mesures i obtenció de dades necessàries per definir el sistema i esbrinar la caiguda de pressió i el cabal obtinguts. Donarem els criteris triats i escollirem també la opció definitiva.
- Banc de treball: Aquí parlarem del muntatge total i definitiu que farem al laboratori que inclourà els dos apartats anteriors així com també els sistemes d'adquisició de dades, de mesura i el tractament a seguir.

Definirem també el procés a seguir durant l'experiment i farem una petita validació i calibratge dels elements per als quals sigui necessari.

1.4.1 Necessitats i Requeriments

En tot projecte el client ens demanarà una sèrie de coses a complir que son necessàries per a l'acceptació de la feina, això es coneix com a llista de necessitats i requeriments.

En el nostre cas (projecte final de grau) i al tractar-se d'un estudi i la realització de l'experiment conseqüent això es un poc diferent, no obstant s'ha elaborat una llista extreta de les converses amb el professor Esteve Codina, màxim responsable del projecte.

- S'han de dissenyar totes i cada una de les peces necessàries per a la realització de mesures per a poder comparar l'efectivitat en l'amortiment de ranures a un pistó, siguin aquestes constants o bé de profunditat variada.
- Aquestes ranures estaran fetes amb la mateixa eina, tant les constants com les variades.
- Es imperatiu que la realització i cost econòmic total del projecte sigui el més baix possible, no passant mai dels 15.000 €.
- Tenint en compte el pressupost màxim donat s'ha de buscar la major precisió possible de mesura.
- El projecte es realitzarà a les instal·lacions del LABSON al campus de la UPC de Terrassa.
- Sempre que sigui possible s'ha d'utilitzar les màquines i elements ja disponibles al LABSON.

- A la finalització s'haurà de proporcionar copia de totes les dades obtingudes a l'experiment.
- Termini: el projecte s'ha d'entregar abans de juny de 2019.

1.4.2 Prototip pistó

En el nostre cas en centrarem només a l'estudi d'esmoreïments a través de ranures al pistó, sabem que mitjançant aquest sistema es poden aconseguir bons resultats, el problema és que normalment per aconseguir gran efectes de disminució de velocitat i evitar cops el més habitual és utilitzar mètodes que exigeixen gran precisió de mecanització a les peces i aquests processos són molt costosos econòmicament per això ens hem proposat un cas concret, suposem que tenim una eina de mecanització donada, en aquest cas el més normal seria efectuar ranures constants al pistó de manera que aquest, al seguir el curs de la seva carrera va apropant-se al forat de sortida del fluid i quan finalment hi arriba es produeix un efecte en el qual és més fàcil per al fluid sortir passant a través de les ranures que no pas per l'espai entre pistó i camisa, no obstant si aquestes ranures estan distribuïdes de la manera usual el que aconseguim és un efecte constant d'esmoreïment des de el moment en que la primera ranura arriba a la posició "x" (axial) de coincidència al forat fins al moment en que l'última d'aquestes ranures surt de l'espai corresponent a l'orifici de sortida del fluid.

Amb això al cap vam decidir que si utilitzem la mateixa eina del cas anterior, sense necessitat d'augmentar el costos econòmics ni la precisió d'aquesta el que podem fer és variar la profunditat de cada una d'aquestes ranures de manera que l'efecte de l'esmoreïment no és constant, sinó que és progressiu i va augmentant a mesura que el pistó es va acostant al seu final de carrera. Així evitem els cops i els canvis brusc a dintre del nostre sistema. Com que no hem variat l'eina seguim tenint la mateixa precisió de mecanització i acabats així com també la mateixa amplada de cada una d'aquestes ranures (0,80mm), no obstant aconseguim l'efecte desitjat, així doncs aquest és el disseny final sotmès a estudi (per veure plànols complets anar a la secció Annex I Documentació gràfica).

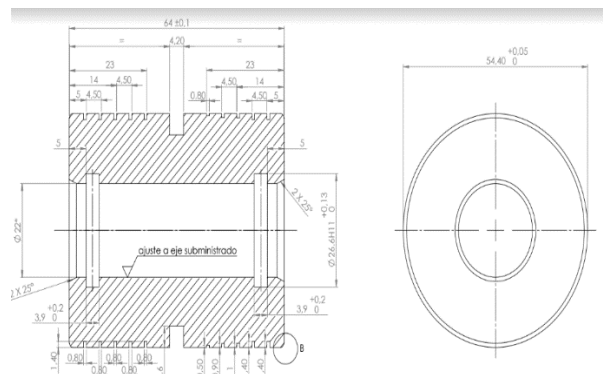


Figura 3.1 Pistó

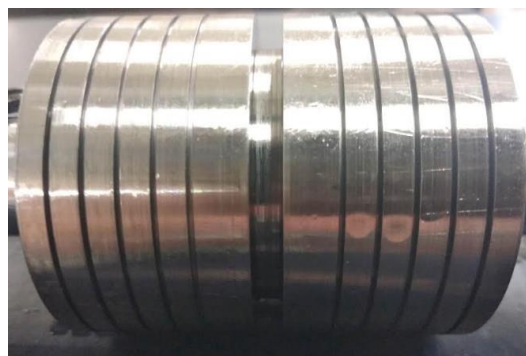


Foto 1.1 Pistó

1.4.3 Prototip màquina

Una vegada decidit el pistó i el disseny de les seves ranures, ara necessitem idear un sistema que ens permeti situar el pistó a totes les posicions desitjades per a estudiar el comportament del sistema, hem de poder moure i fixar el pistó en varies posicions, tant axialment com radial. Per a poder fer això vam fer un *brainstorming* amb el tutor d'on van sortir varies idees de disseny bàsic a considerar, a continuació les llistarem i farem una breu explicació de cada una.

Partirem en totes de situar el pistó dintre de una camisa amb un joc de 0'6 mm (excèntric) i a on es puguin aconseguir 9 posicions horitzontals diferents de manera que coincideixi la primera ranura amb el centre del forat de sortida del fluid a la camisa, passant per les posicions on cada una de les ranures estigui al centre així com que dues ranures quedin situades a la zona del forat, i fins a que siguin les dues ultimes les que hi estiguin situades.

1.4.3.1 Disseny basic de les diferents opcions

A) Pistons excèntrics.

Partint del pistó definit anteriorment i utilitzant aquest com a base i com a primer muntatge la idea es fabricar 3 pistons més, amb l'eix descentrat, on la distancia entre el centre del pistó i el centre del forat per l'eix siguin de 0'1mm, 0'2mm i 0'3mm.

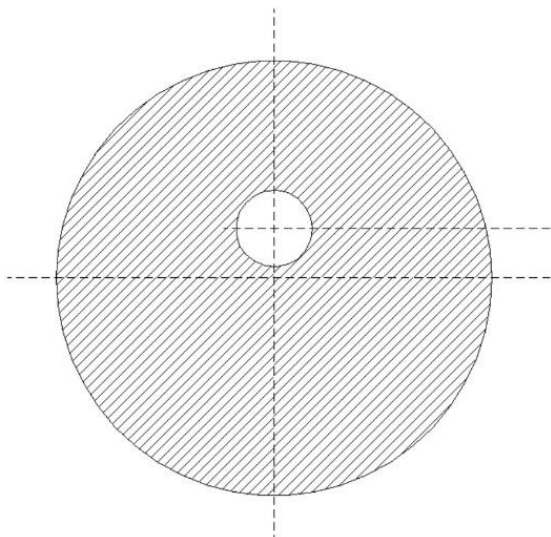


Figura 3.2 Pistó excentric

D'aquesta manera ja tindríem 3 punts (excèntrics) si sumem el del primer pistó ja serien 4, I si a aquestes 3 invertim la posició del pistó 180°, tindríem les tres posicions mirall, fent un total de 7 que es el desitjat.

Per controlar la posició axial es situarien dintre la camisa uns topalls mecànics que no permetrien el moviment horitzontal del pistó fixant així la seva posició "x", la pressió del fluid ens ajudaria també a mantenir-ho fix.

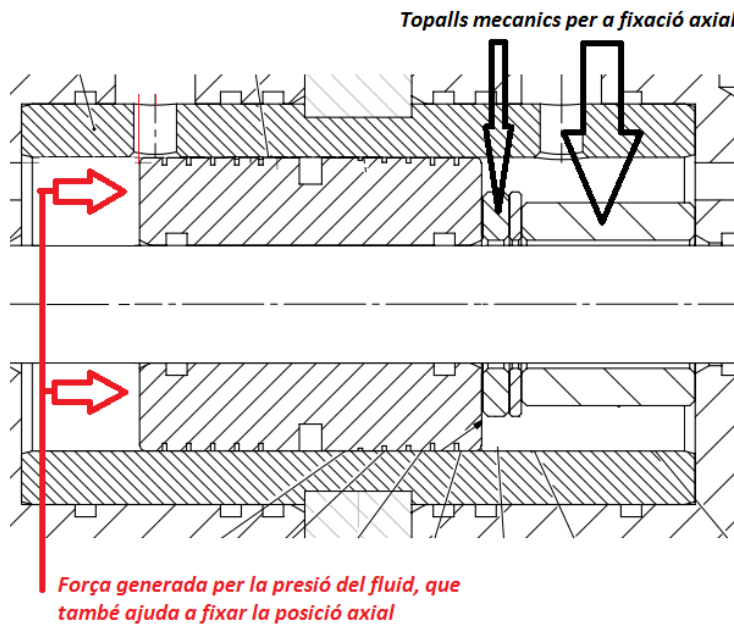


Figura 3.3 Fixació per topalls mecànics

Avantatges:

7 posicions de mesura excèntrica clares.
Muntatge tancat i estanc sense necessitat d'elements exteriors.
Precisió aconseguida igual a la del taller i toleràncies.
Pot realitzar l'experiment una persona sola.

Inconvenients:

Inserció del pistó de major excentricitat molt complicada.
Impossibilitat de controlar que no hi hagi lliscaments que facin girar radialment el pistó.
Si es vol evitar lo anterior requerirà de moltes mes peces i muntatge extern.

B) Pistons amb cos excèntric

Una idea semblant a l'anterior amb una diferència bàsica, en aquest cas no seria el forat de l'eix el que tindria l'excentricitat; sinó que seria el cos del pistó, on van les ranures d'esmoreïment, el que seria excèntric respecte de l'eix.

Les posicions axials (horitzontals) es controlarien a l'igual que en el cas anterior, es a dir, mitjançant topalls mecànics.

Avantatges:

7 posicions de mesura excèntrica clares.
Muntatge tancat i estanc sense necessitat d'elements exteriors.
Precisió aconseguida igual a la del taller i toleràncies.
Pot realitzar l'experiment una persona sola.

Inconvenients:

Inserció del pistó de major excentricitat molt complicada.
Impossibilitat de controlar que no hi hagi lliscaments que facin girar radialment el pistó.
Si es vol evitar lo anterior requerirà de moltes mes peces i muntatge extern.

C) Boles sobre pendent inclinat

En aquest cas, la idea és situar unes boles planes que es mouen per sobre d'un pla inclinat per tal de controlar la posició vertical del conjunt EIX + PISTÓ. Aquestes rodes haurien de poder avançar i retrocedir per voluntat i d'estar enganxades per molles a la peça. Així aconseguiríem una gran precisió que seria en funció de la mètrica i la pendent de la recta.

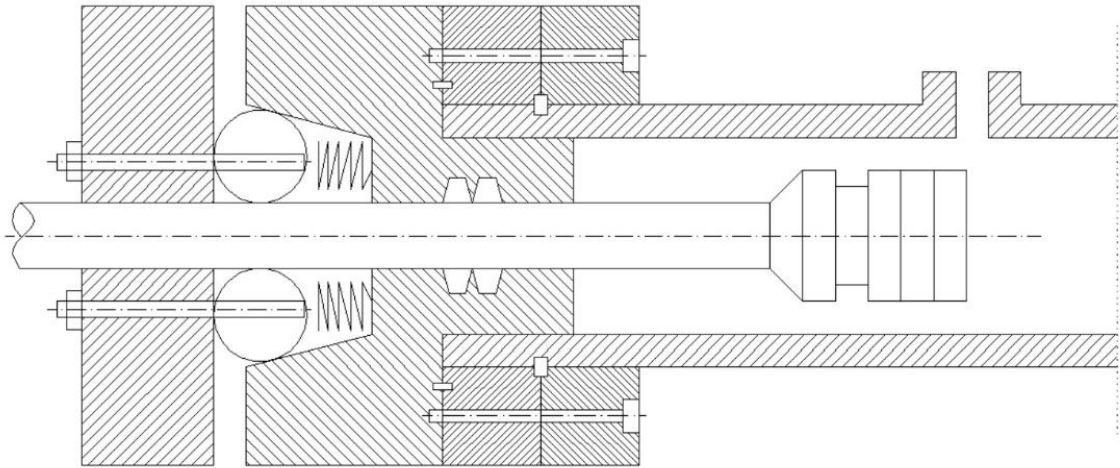


Figura 3.4 Boles sobre pendent inclinat

Avantatges:

Alt control de precisió: mètrica + 1:X (pendent del pla)
Una sola persona pot col·locar totes les posicions

Inconvenients:

Peces molt complexes i, per tant, sensibles a error
Peces cares amb mecanització molt precisa i, per tant, també molt cara
Difícil alineament
Requereix desmuntatge complet per cada una de les configuracions

D) Galgues

Aquest sistema es basa en una sèrie de peces mòbils a sobre la camisa que donen un joc i permeten el seu moviment vertical. Des de l'exterior es controla aquesta posició i, una vegada seleccionada i col·locada, es fixa.

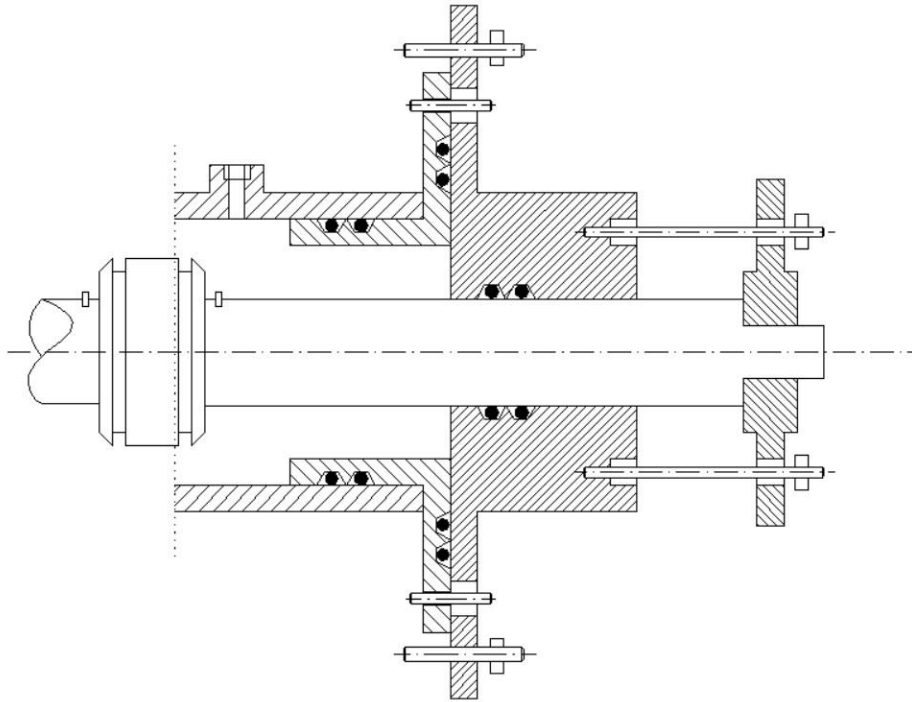


Figura 3.5 Galgues

Per a controlar la posició horitzontal es poden usar espigues de mètrica coneguda.

Avantatges:

Peça interior sempre fixada

Possibilitat (si es posa una barra connectant els dos costats) de pujar i baixar l'eix mantenint sempre la seva horitzontalitat

No requereix desmuntar per variar l'excentricitat

Inconvenients:

Impossible per una sola persona regular l'altura i fixar peces i excentricitat, tot alhora

Necessitat de molta precisió i molta feina per primer alineament i per afixar posicions inicials

1.4.3.2 Criteris i Ponderacions

A continuació i, per a totes les possibilitats anteriorment mencionades, llistarem una sèrie de criteris i avaluarem cada una de les opcions anteriors segons elles, els hi donarem un pes, segons la importància que considerem que té, ponderant el seu valor sobre 10.

Repetibilitat.

Volem poder repetir l'experiment tantes vegades com sigui necessari, si s'ha de fer es imperatiu que les posicions i condicions siguin el més exacte possible i no hi hagi diferències entre els diferents intents.

Ponderació: 8/10

Precisió de la regulació d'excentricitat.

Ens interessa tenir la major precisió possible per tal que les dades siguin el més significatives que es pugui.

Ponderació: 9/10

Alienació fàcil

No volem que en cada cas haguem d'invertir molt de temps i treball en situar la màquina a la posició inicial ja que s'haurà de repetir molts cops.

Ponderació: 6/10

Muntatge estanc i sense pèrdues.

Tindrem un volum limitat d'oli per a fer l'experiment volem evitar tantes pèrdues com sigui possible ja que així disminuïrem en els errors de mesura en que podríem caure.

Ponderació: 5/10

Preu

Degut a que tenim un pressupost màxim donat pel client i a que la major part anirà dirigida a pagar els costos de fabricació i mecanització de les peces es aquí on més s'inflarà el pressupost i per tant hem d'intentar fer-ho el mas econòmic possible.

Ponderació: 10/10

1.4.3.3 Opció escollida

Amb els criteris anteriorment llistats i les opcions de disseny s'ha fet una taula Excel valorant cada una de les opcions, que es mostra a continuació:

		Criteris de selecció					Total ponderat
		Repetibilitat.	Precisió de la regulació d'excentricitat.	Alienació fàcil	Estanqueïtat	Preu (menys car)	
Opcions de Disseny	Pistons excèntrics.	5	9	3	10	5	239
	Pistons amb cos excèntric	4	9	3	10	2	201
	Rodes sobre pendent inclinat	6	9	4	5	4	218
	Galgues	7	7	5	7	7	254

Taula 1.1 criteris de selecció

Com es pot observar el disseny guanyador es el de Galgues.

Una vegada decidit procedim a fer-ne els plànols definitius però abans hi farem una sèrie de canvis que durant aquest període hem vist que podrien ser beneficiosos.

Dels primers dos dissenys n'extraurem la idea dels topalls mecànics per a fixar la posició horitzontal ja que es un bon sistema i ens ajudarà a abaratir el cost del projecte, ens dona molta precisió i repetibilitat i simplement en lloc de tenir totes i cada una de les "x" disponibles ara tindrem 9 posicions prefixades on prendre les mesures. A més a més així evitem haver de mecanitzar més l'eix.

Per altra banda i pel que fa al sistema de fixament de posició vertical farem que la peça que enganxa amb la camisa vagi per fora i no per dins i li farem una entalla on anirà ficada la peça mòbil d'aquesta manera la mòbil serà molt més senzilla i barata i només situant galgues a la part inferior i estrenyent mitjançant un cargol fixarem la posició.



Foto 1.2 Alçat

Amb tot això el disseny definitiu queda de la següent manera (per veure plànols complets anar a la secció Annex I Documentació gràfica) :

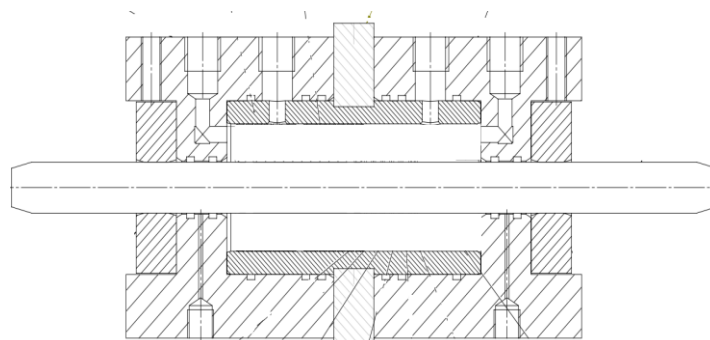


Figura 3.6 Prototip Màquina

S'ha fet una ponderació final per comprovar si l'últim disseny compleix millor amb els nostres criteris i aquest es el resultat.

		Criteris de selecció					Total ponderat
		Repetibilitat.	Precisió de la regulació d'excentricitat.	Alienació fàcil	Estanqueïtat	Preu (menys car)	
Opcions de Disseny	Pistons excèntrics.	5	9	3	10	5	239
	Pistons amb cos excèntric	4	9	3	10	2	201
	Rodes sobre pendent inclinat	6	9	4	5	4	218
	Galgues i topalls	7	7	5	7	7	254
	Disseny final	9	7	8	7	9	308

Taula 2.2 criteris de selecció revisats

Veiem que ha augmentat el valor ,cosa que vol dir que ara compleix millor amb els criteris marcats.

1.4.4 Banc experimental



Foto 2.1 Banc experimental

El banc experimental compren la totalitat del nostre muntatge, el separarem en 4 grups diferents:

1. Grup Hidràulic
2. Prototips pistó i màquina
3. Sistemes de mesura
4. Sistemes d'adquisició de dades

1.4.4.1 Grup Hidràulic

El G.H. el conformen tots els elements que conformen el circuit hidràulic, es a dir tots els elements que estan en contacte amb el fluid a excepció dels prototips (veure 1.4.4.2 Prototips pistó i màquina) i els elements de mesura (veure apartat 1.4.4.3 Sistemes de mesura) , així com també el motor. A continuació es marcaran tots en plànol de circuit oleohidràulic , s'indexaran mitjançant taula on es podrà veure la seva referència i se'n farà una petita explicació.

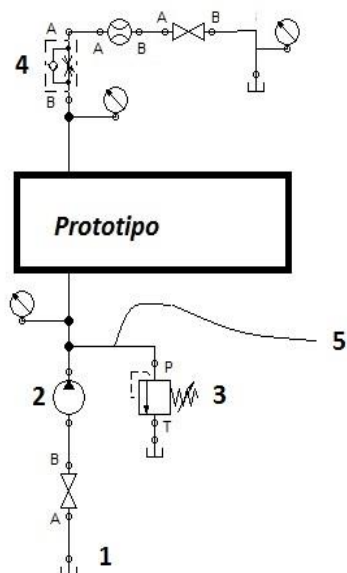


Figura 4.1 Circuit hidràulic

Numeració	Nom	Proveedor	Referencia	Especificacions tècniques
1	Dipòsit	Propi	-	-
2	Grup Motor-Bomba	Maquinaria Eléctrica Bilbao - Roquet	MEB9909480 7 1L22DC10B	Veure Annex II
3	Valvula limitadora de presi�	Roquet	SGRD03/G11	Veure Annex II
4	Valvula reguladora de cabal	Roquet	1VCR02R3D	Veure Annex II
5	Tub flexible de fluid hidràulic	-	-	-

Taula 1.3 Elements G.H.

- 1 Dipòsit: Part molt important del circuit, ja que no tan sols conté el fluid, si no que a més serveix per a la seva adequació, eliminació d'aire, escumes, refrigeració, i d'altres.



Foto 2.2 Dipòsit

- 2 Grup motor-bomba: El motor es l'element mecànic encarregat de subministrar energia a la bomba i per tant al sistema. En el nostre cas va connectat a la xarxa trifàsica i transforma l'energia elèctrica en energia mecànica que aporta a la bomba.
La bomba oleohidràulica rep energia del motor i l'aporta al fluid. És qui aporta el cabal i genera moviment per al nostre sistema.



Foto 2.3 Motor-bomba

- 3 VLP: La vàlvula reguladora de pressió o limitadora és normalment l'encarregada de la seguretat del nostre sistema. La seva funció es que en el moment en que detecta que la pressió del sistema ha augmentat fins al punt de la seva pressió de tara, la vàlvula s'obre descarregant el fluid a dintre del dipòsit i evitant així possibles accidents o fugues en altres punts del sistema, alliberant el fluid i impedit que mai es pugui superar en cap punt del circuit la seva tara (pressió a la qual l'hem tarat). No obstant nosaltres l'utilitzarem variant aquest tarat de manera que ens anirà variant la pressió i el caudal que circulen. D'aquesta manera podrem obtenir el punts de la recta que ens mostrarà el comportament del fluid sotmès a estudi.



Foto 2.4 VLP

-
- 4 Estrangulador: La vàlvula reguladora de caudal o estrangulador serveix per regular el pas del fluid a través del tub flexible per repercutir en el moviment dels actuadors. Modifiquen el cabal que hi viatja, normalment s'utilitzen per fer control de velocitat en cilindres.



Foto 2.5 VCR

- 5 Tub flexible: Son el mitjà per on viatja el fluid entre un element i un altre, es poden instal·lar tubs flexibles o rígids, en el nostre cas optarem pel flexible degut a la necessitat de muntar i desmuntar regularment el sistema per a la realització de l'experiment.



Foto 2.6 Tub flexible

1.4.4.2 Prototips pistó i màquina

Ambdós estan ja explicats, per a prototip pistó anar a l'apartat 1.4.2 Prototip pistó.
Per a veure prototip màquina, anar a l'apartat 1.4.3 Prototip màquina.

1.4.4.3 Sistemes de mesura

Els sistemes de mesura els conformen tots aquells elements que extreuen les dades del nostre conjunt, en el nostre cas seran 3 sensors de pressió i 1 sensor tèrmic.

Els sensors de pressió 1 i 2 ens donen la lectura de la pressió a l'entrada i a la sortida del cilindre, d'aquesta manera podrem esbrinar la caiguda de pressió entre elles.

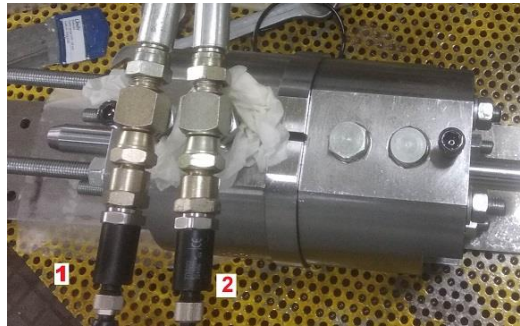


Foto 2.7 Sensors de pressió

El sensor de pressió 3, juntament amb la clau de pas que restringeix el flux d'oli i el cronòmetre intern del LabView, ens fa la funció de cabalímetre, servint-nos per calcular l'altura de la columna d'aigua i el temps transcorregut, i per tant el cabal que circula pel nostre circuit.



Foto 2.8 cabalímetre

El sensor tèrmic s'introduirà a la cubeta on hi ha l'oli d'aquesta manera sabrem a quina temperatura està i podrem conèixer les propietats que depenen d'ella com per exemple la viscositat.



Foto 2.9 Sensor Tèrmic

Numeració	Nom	Proveedor	Referencia	Especificacions tècniques
1	Sensor Presió 1	WIKA	MH-2 IEC 60 529	Veure Annexes II
2	Sensor Presió 2	WIKA	MH-2 IEC 60 530	Veure Annexes II
3	Sensor Presió 3	Keller	PR-41/0'1/818 50	Veure Annexes II
4	Sensor Tèrmic	WIKA	T21.30	Veure Annexes II

Taula 1.4 Elements de mesura

1.4.4.4 Sistema d'adquisició de dades

El sistema d'adquisició de dades està format per totes les parts entre el sistema de mesures (sensores) i fins a que obtenim els arxius .lmv (blocs de dades) amb totes les lectures de l'experiment. Està constituït per:

- El circuit elèctric, necessari per a poder rebre les dades dels sensors correctament.

Degut a que tenim sensors 04..20mA necessitem un circuit que faci que rebem la informació en forma de lectura de voltatge de 2..10 V, per tal d'aconseguir-ho es va dissenyar i construir el conseqüent circuit.

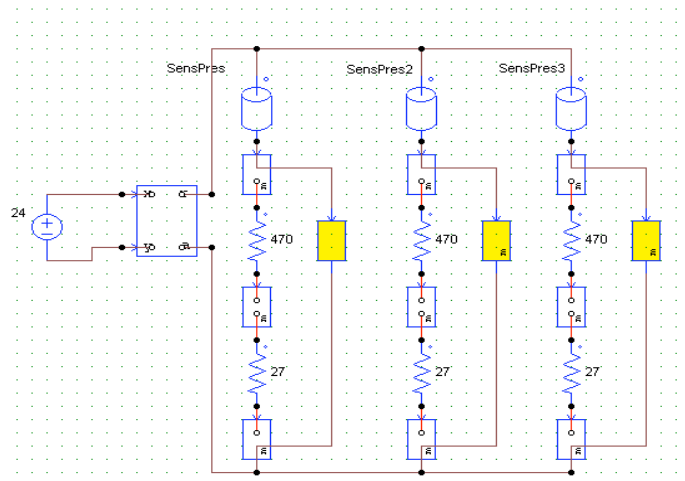


Figura 4.2 Circuit elèctric

L'element marcat en groc es la placa de NI motherboard, els altres elements de forma rectangular són pins de connexió.

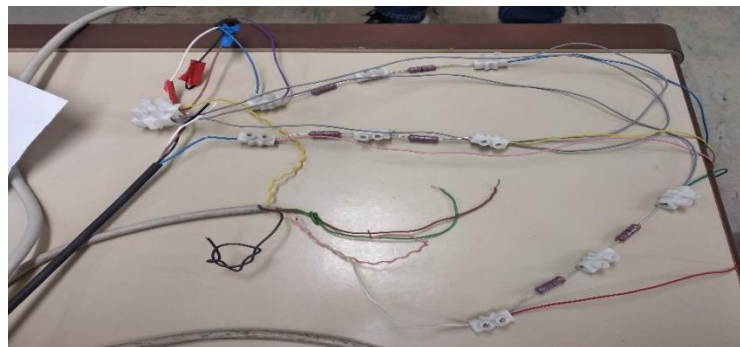


Foto 2.10 Circuit elèctric

- El filtre analògic

Una vegada muntat el circuit es va veure que degut a soroll extern al nostre muntatge es rebien mesures amb una oscil·lació que perjudicaria les mesures així com una alteració amb la senyal base, produïda segurament pel fet de tenir un transformador de alta tensió situat al darrera de la paret del laboratori, per tot això i amb l'objectiu d'aconseguir major precisió i menor error es va decidir col·locar un filtre analògic per eliminar en la mesura del possible aquest error.



Foto 2.11 Filtre analògic

Una vegada col·locat el filtre es van repetir les mesures preliminars i es va comprovar la milloria, donant per bones les lectures preses a partir d'ara.

- National Instruments motherboard

Per a poder fer l'adquisició de dades es necessari connectar els sensors a la NI motherboard, que es el que permetrà al LabView (programa informàtic) poder controlar i generar els blocs de dades que utilitzarem per a avaluar el nostre sistema.

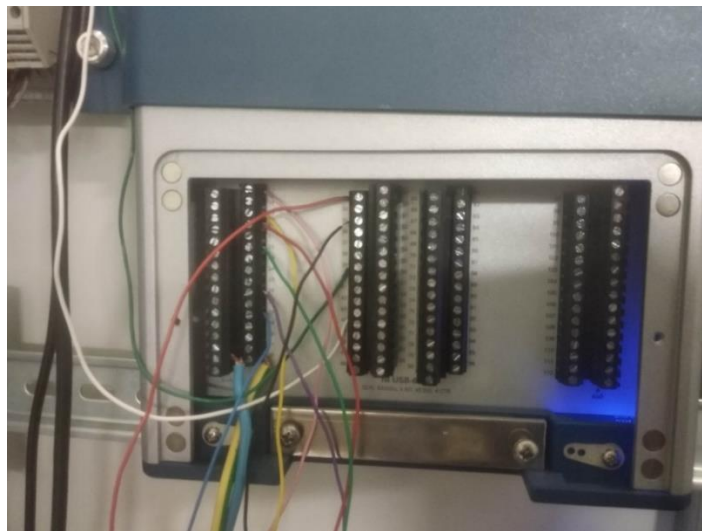


Foto 2.12 NI Motherboard

No explicarem en profunditat el sistema, només direm que es van seguir les especificacions pròpies del fabricant per a totes les connexions i es que es va triar el mode de lectura comparativa envers la de “ground” (lectura única envers Zero) ja que d’aquesta manera i juntament amb el filtre s’aconseguia la major precisió de mesura i el menor error.



Foto 2.13 Pins NI

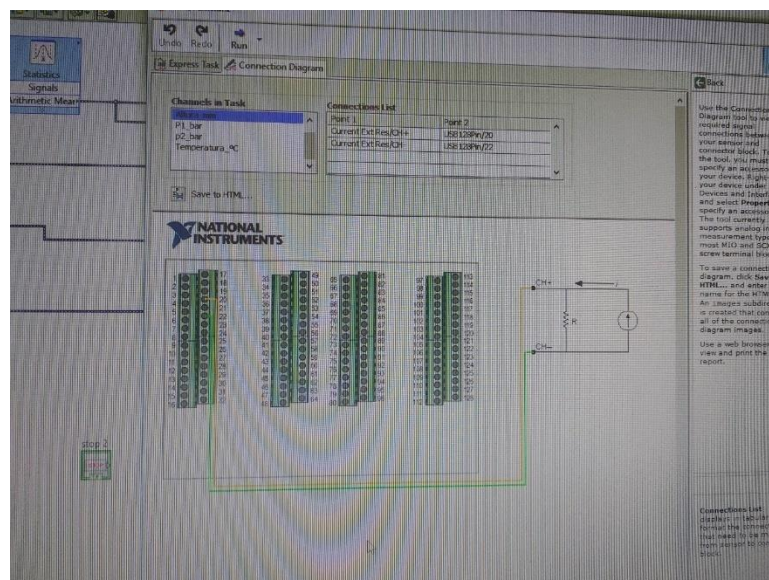


Foto 2.14 Connexionat Labview

- WIKA

Per a la connexió del sensor tèrmic necessitem un pas intermedi degut a la seva configuració física aquest el l'element WIKA, a on connectarem les senyal del sensor per a posteriorment connectar la WIKA al NI motherboard (si es desitja mes informació veure Annex II).

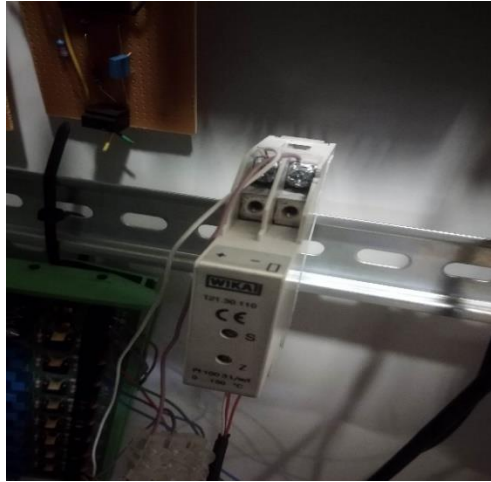


Foto 2.15 WIKA

- LabView

El LabView es un programa informàtic per a la mesura, adquisició i tractament de dades àmpliament usat en tots els sector industrials i d'investigació, permet el control del sistema de mesura a la vegada que adquireix les dades i permet estructurar-les i obtenir-ne la sortida de la manera i en el format desitjat. A continuació es presenta el programa creat al LabView per al nostre experiment, així com la finestra de visualització i control utilitzades.

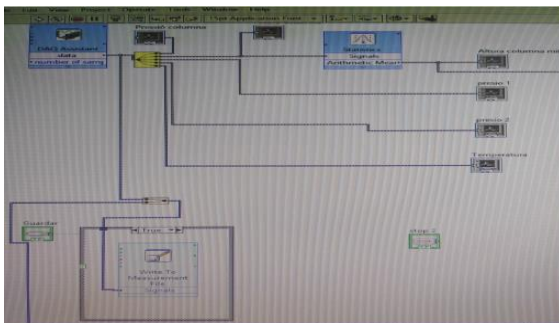


Foto 2.16 Esquema labview

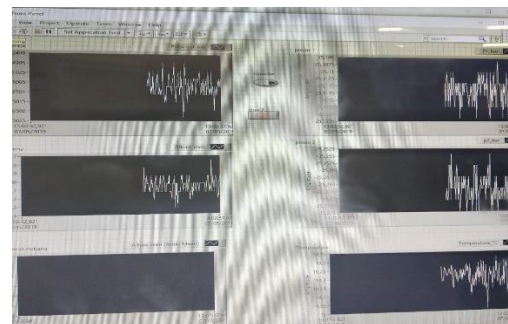


Foto 2.17 Finestra visualització

1.4.5 Metodologia experimental

La metodologia experimental es aquell procés i ordre d'acció que seguirem en cada una de les proves a realitzar. A continuació detallarem el procés. Partirem del punt on tot el circuit hidràulic ja està muntat, tot el sistema de mesura i d'adquisició de dades està instal·lat i procedim al muntatge de la primera posició a estudi, ja s'ha realitzat una primera prova, a mode de calibratge i per assegurar que no hi ha pèrdues i que tot funciona correctament. Procedim a explicar la metodologia:

En primer lloc i tenint tot el sistema apagat i sense energia elèctrica, amb totes les claus de pas tancades i el fluid comprés només a dintre del dipòsit, procedim al muntatge.

A) Triarem la posició horitzontal a estudiar i muntarem a sobre de l'eix els topalls mecànics necessaris per a la posició triada a estudi i també el prototip pistó introduint-lo de manera que la geometria a estudi (ranures iguals o variades) quedi situada al costat contrari que els topalls.

Per altra banda tindrem completament muntat el prototip màquina (sense eix ni pistó a dintre) a excepció d'una de les peces anomenades la Peça6_Mobil i la Peça1_fixe que hi encaixa (per més informació veure Annex I Documentació Gràfica), concretament la que no té els sensor de pressió acoblats.

A continuació introduïrem l'eix amb pistó i ranures a dintre del muntatge assegurant-nos que el pistó està orientat cap al costat on hi ha els instruments de mesura.

Un cop fet això muntarem la Peça1_fixe passant-la per l'eix i per les espigues roscades fins a tocar amb la Peça2_tub, deixant el muntatge alineat i en posició. Agafarem 6 volanderes i sis femelles i les situarem sobre les espigues roscant-les manualment fins que estiguin en contacte amb la Peça1_fixe.

Ara utilitzant aquests cargols anirem roscant alternant entre visos i mai fent més de una volta de manera que així es vagi introduint paulatinament la Peça1 sense trencar cap junta tòrica, fins que arribem al final.

Un cop fet això ens assegurarem que el muntatge es correcte i estanc.

Ara introduïrem passant per l'eix la Peça6_Mobil i l'encabirem dintre l'allotjament de la Peça1_fixe.

Tenim acabat el muntatge preliminar. Ara donarem energia al sistema, obrirem les claus de pas i farem circular fluid per tot el sistema durant un minut, assegurant-nos que tot funciona i que no hi ha fugues, un cop comprovat apaguem el motor i tornarem a tancar totes les claus de pas.

B) Ara muntarem la fixació radial.

Introduïrem a sota les dos Peça6_Mòbil, entre aquesta i la Peça1_fixe les galgues de gruix conegut que desitgem per a la posició radial (cosa que delimitarà la nostra excentricitat a estudi).

Un cop fet això assegurarem mitjançant el cargol situat a la Peça1_fixe aquesta posició i comprovarem que tot està correcte. Ja tenim el prototip pistó i màquina en posició.

Ara procedim a la prova:

1. Obrim totes les claus de pas.
2. Donem energia al sistema, activant la bomba durant un minut, comprovem que tot està correcte i apaguem
3. Preparam el LabView per gravar, tornem a donar energia i deixem córrer un minut.
4. Tanquem la clau de pas situada al costat del sensor de pressió 3 (veure apartat 1.4.5.3 Sistemes de mesura), d'aquesta manera podrem mesurar el cabal que circula.

5. Deixem transcórrer uns segons perquè s'acumuli oli a la columna de control i així evitar possibles errors deguts a que en els primers moments s'ha d'acumular una mica de fluid abans de que la lectura sigui precisa i activem la gravació de dades des del programa de control, esperarem a veure el resultat a la finestra de visualització.
6. Introduïm una clau Allen a la VLP i girarem una volta, esperem dos segons i tornem a efectuar una lectura i gravació de dades. Repetirem aquest pas 10 vegades per tenir suficients punts per definir la corba de comportament.
7. obrim la clau de pas tancada perquè tot el fluid retorni al dipòsit.
8. Apaguem motor.
9. Tanquem totes les claus de pas

Ja tenim la primera prova, ara afluixarem els cargols de subjecció entre les peces 1 i 6 i posteriorment extraurem les galgues anteriorment posades.

Repetirem tot el procés B per a cada una de les excentricitats que vulguem estudiar.

C) Un cop estudiades totes les excentricitats per a la posició horitzontal fixada, amb el motor desconectat i totes les claus de pas tancades traurem el sis cargols que aguanten la peça inicialment muntada, retirarem la peça introduïda al seu allotjament i posteriorment desmuntarem la peça per després extreure l'eix juntament amb topalls i pistó, de dintre del prototip màquina.

Hem tornat al punt inicial A. Ara repetirem el procés complet 9 vegades, una per a cada posició horitzontal a estudi, comprovarem les dades i repetirem en cas de ser necessari.

1.4.6 Validació/Calibratge

Abans de començar l'experiment es va fer una prova de mesura, es va comprovar la lectura de tots els sensors de pressió amb una altra realitzada amb manòmetres analògics en les mateixes condicions, la lectura del sensor de pressió que avalua l'altura de la columna de fluid es va comparar també amb una lectura analògica de l'altura presa manualment i es va avaluar el sensor tèrmic comparant la seva lectura base amb els altres dispositius de lectura de temperatura del laboratori, totes aquestes comparacions van donar errors per davall del 5% i es va donar per calibrats tots els aparells de mesura.

1.5 Resultats experimentals

Amb l'equip experimental dissenyat es pretén avaluar la corba característica entre la diferència de pressió a l'entrada i sortida del fluid del cilindre amb el caudal que hi circula per a diverses posicions i per a les dues geometries de pistó dissenyades.

A la fotografia següent es marquen L_{ref} i L^* , on L_{ref} es la distància entre el cap del pistó i el centre del forat de sortida del fluid i L^* és la distancia de solapament entre pistó i camisa que ha de recórrer el fluid abans d'arribar al forat.

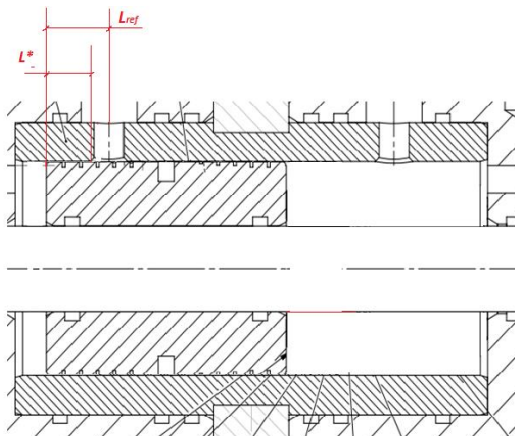


Figura 5.1 L_{ref} i L^*

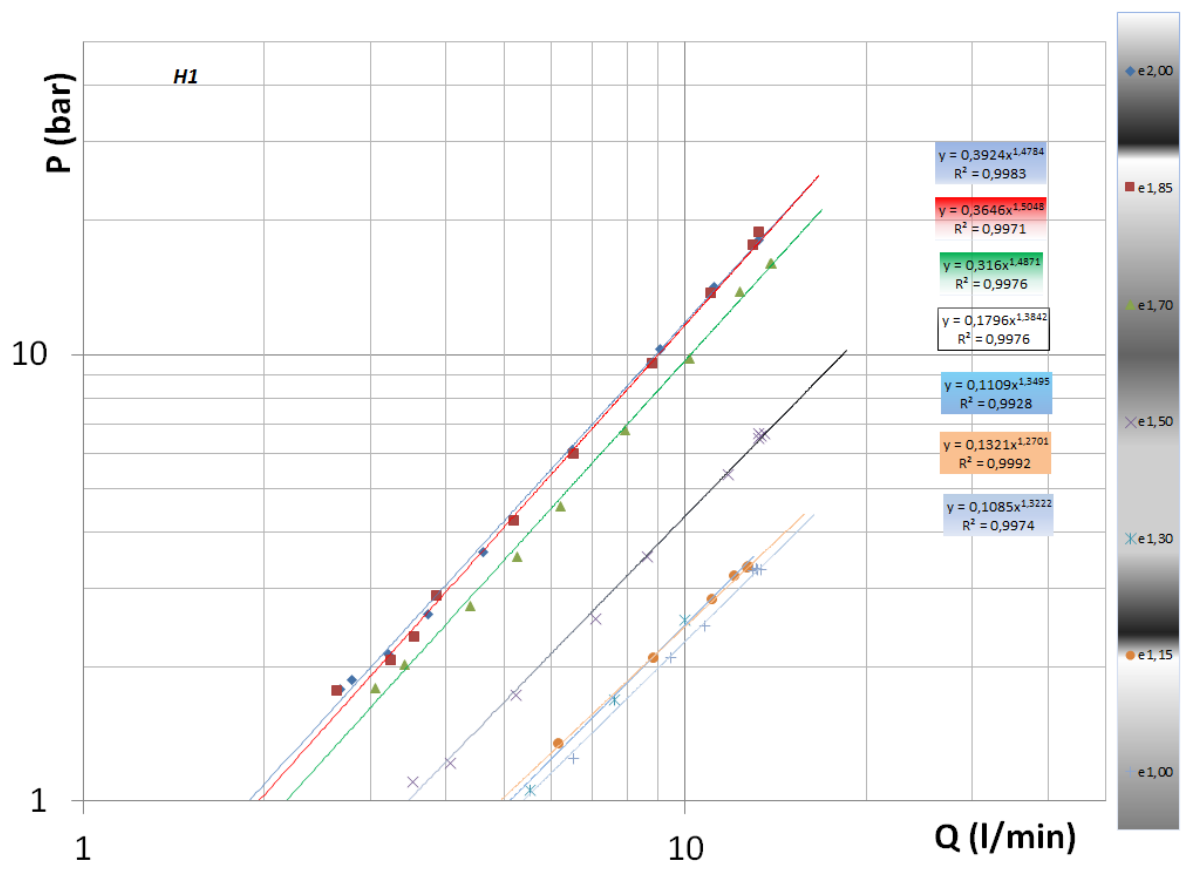
Referenciarem les proves realitzades mitjançant taula, tant per la configuració de ranures iguals com per les de ranures variades, identificarem la referència axial i horitzontal amb la nomenclatura de cada gràfica.

RANURES IGUALS:

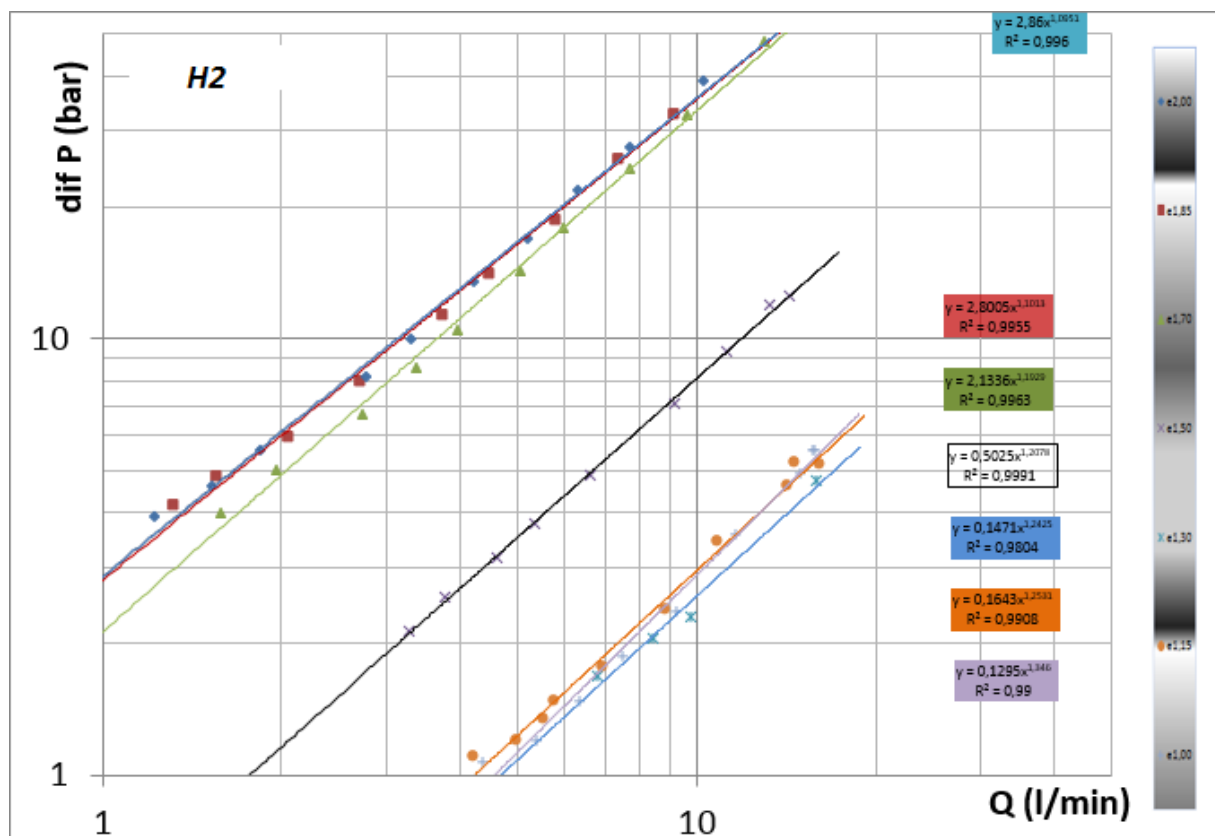
pisto amb ranures iguals		Referència horitzontal								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
$L_{ref}(mm)$		3,7	5,95	8,2	10,45	12,7	14,95	17,2	19,45	21,7
$L^*(mm)$		-0,8	1,45	3,7	5,95	8,2	10,45	12,7	14,95	17,2
Ref axial	Joc(mm)	H1_2	H2_2	H3_2	H4_2	H5_2	H6_2	H7_2	H8_2	H9_2
2	0	H1_1,85	H2_1,85	H3_1,85	H4_1,85	H5_1,85	H6_1,85	H7_1,85	H8_1,85	H9_1,85
1,85	0	H1_1,7	H2_1,7	H3_1,7	H4_1,7	H5_1,7	H6_1,7	H7_1,7	H8_1,7	H9_1,7
1,7	0,1	H1_1,5	H2_1,5	H3_1,5	H4_1,5	H5_1,5	H6_1,5	H7_1,5	H8_1,5	H9_1,5
1,5	0,3	H1_1,3	H2_1,3	H3_1,3	H4_1,3	H5_1,3	H6_1,3	H7_1,3	H8_1,3	H9_1,3
1,3	0,5	H1_1,15	H2_1,15	H3_1,15	H4_1,15	H5_1,15	H6_1,15	H7_1,15	H8_1,15	H9_1,15
1,15	0,6	H1_1	H2_1	H3_1	H4_1	H5_1	H6_1	H7_1	H8_1	H9_1
1	0,6	H1_1	H2_1	H3_1	H4_1	H5_1	H6_1	H7_1	H8_1	H9_1

Taula 2.1 Referències ranures iguals

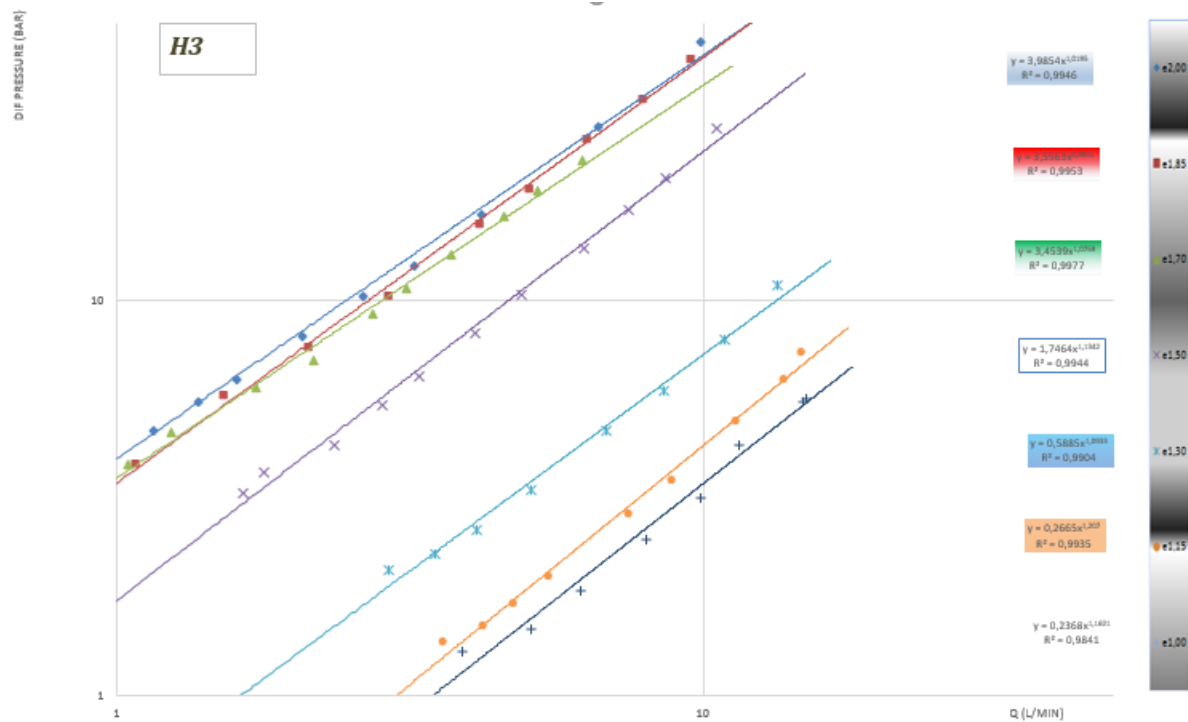
Aquestes són les gràfiques corresponents a cada una de les posicions a estudiar amb la configuració de ranures iguals:



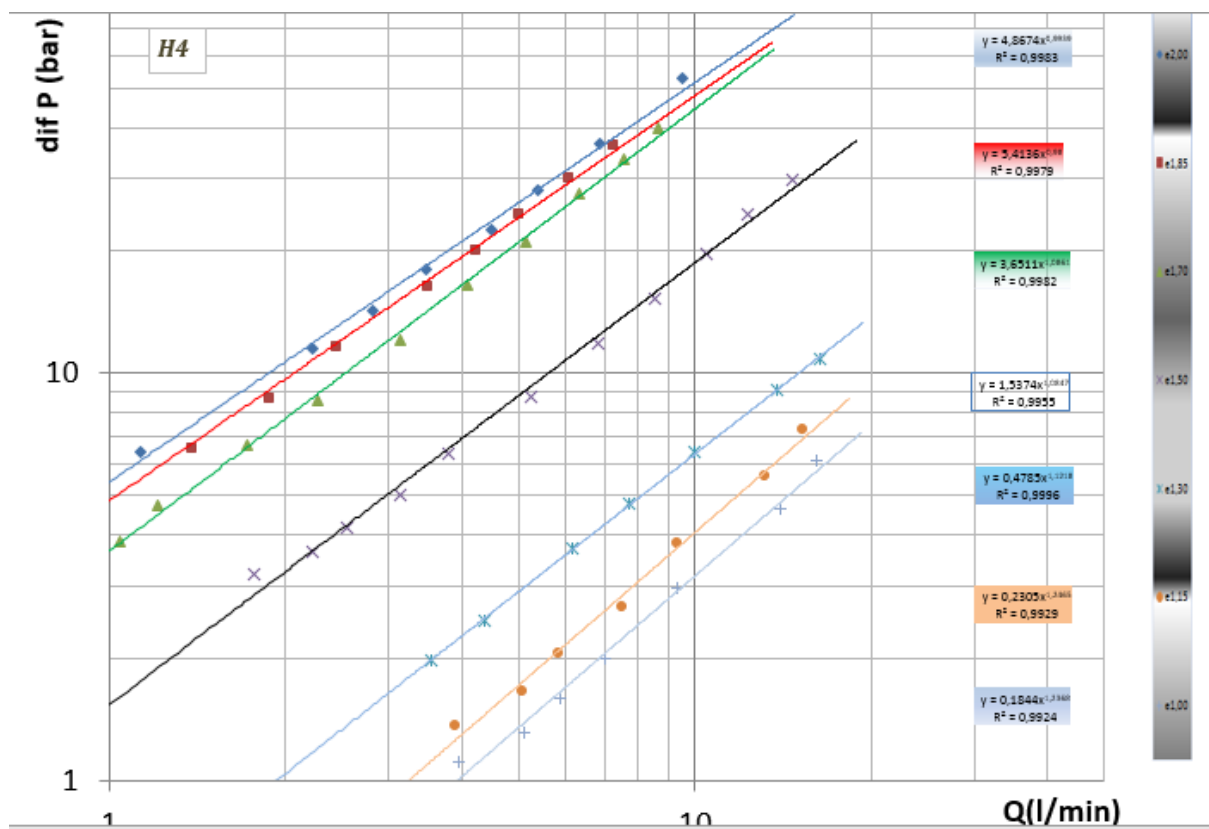
Grafic 1.1 H1



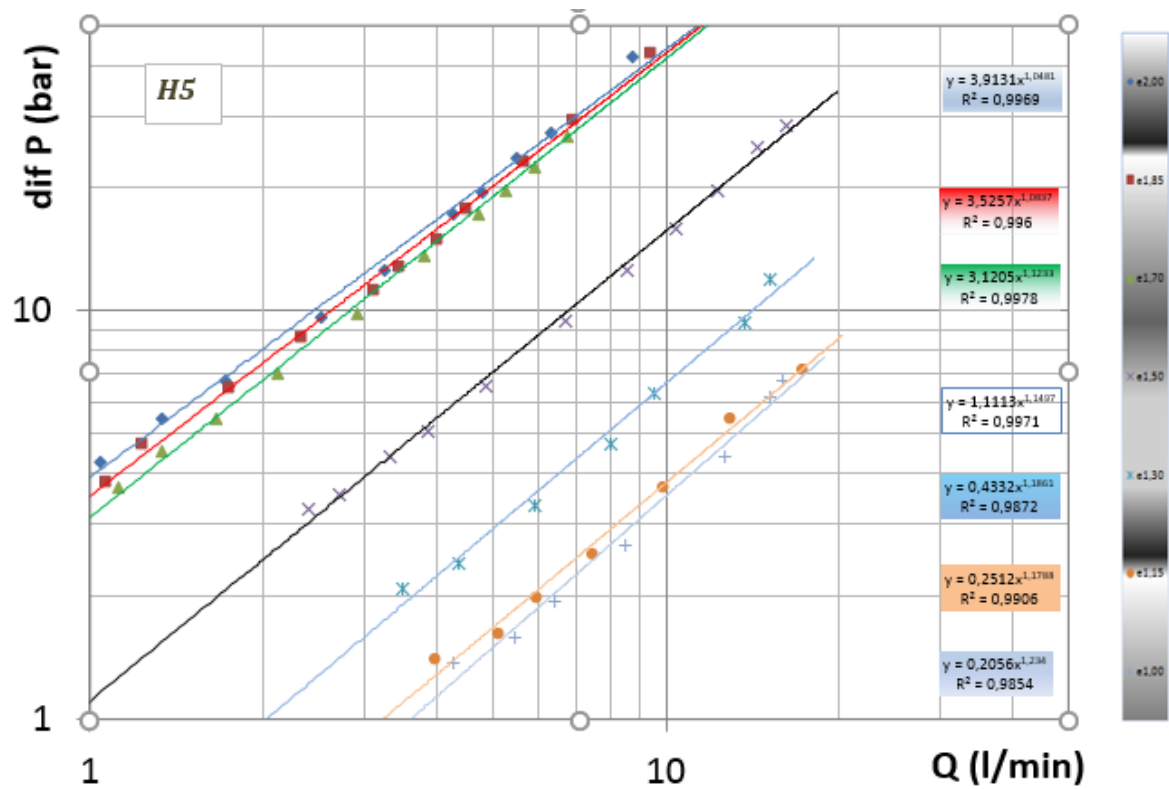
Grafic 1.2 H2



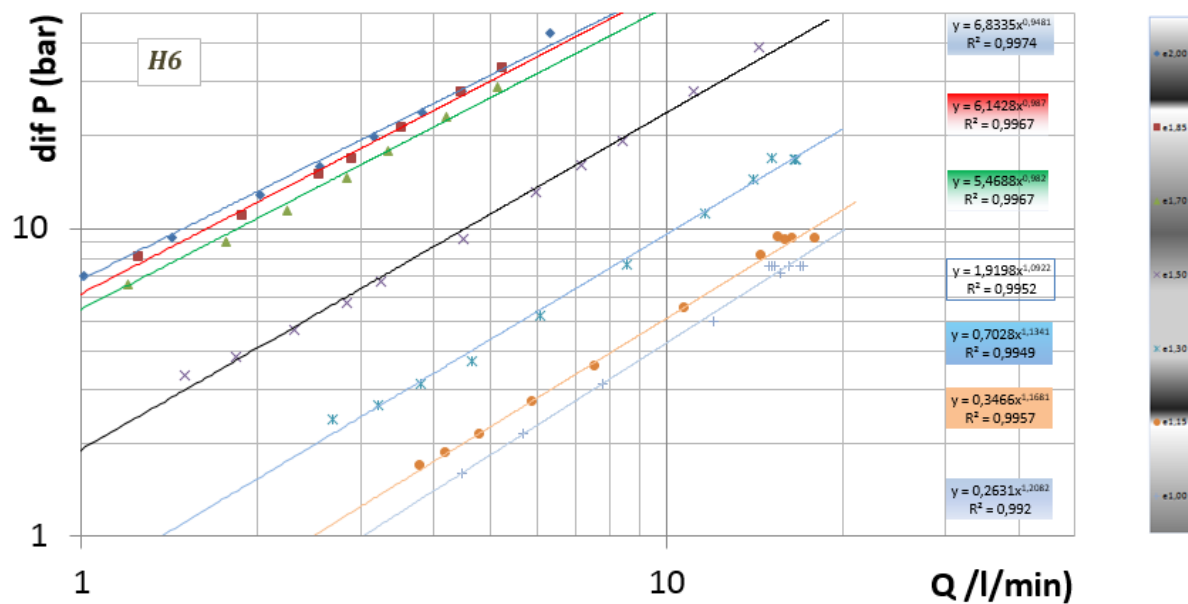
Grafic 1.3 H3



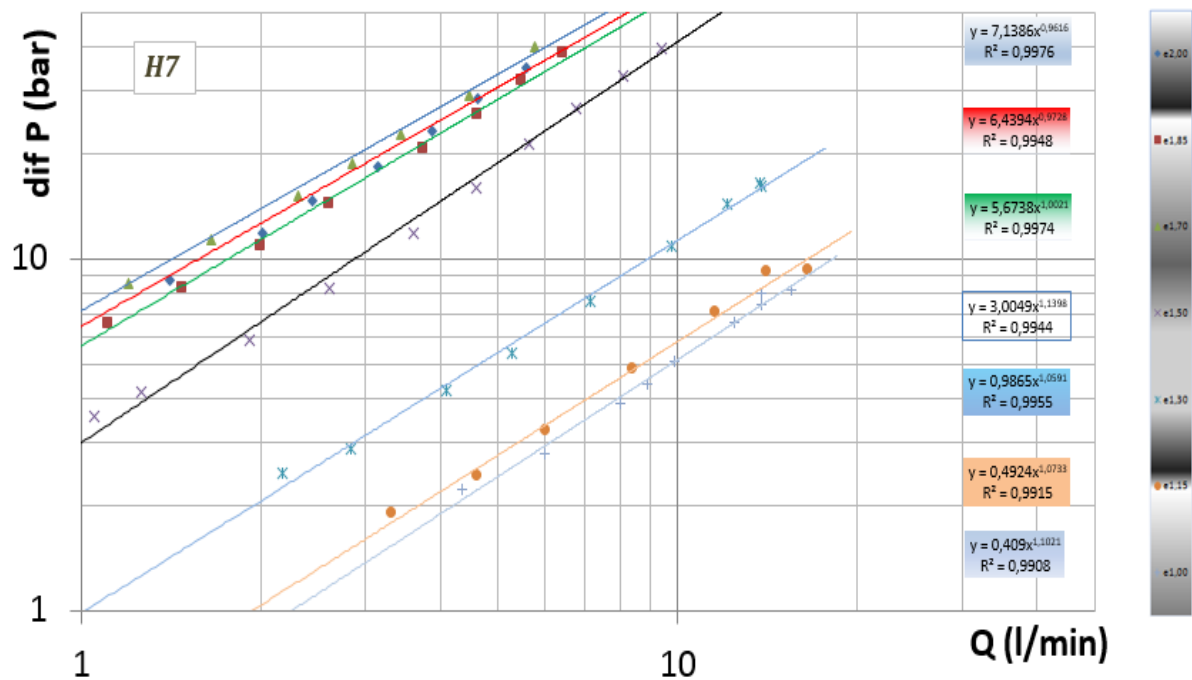
Grafic 1.4 H4



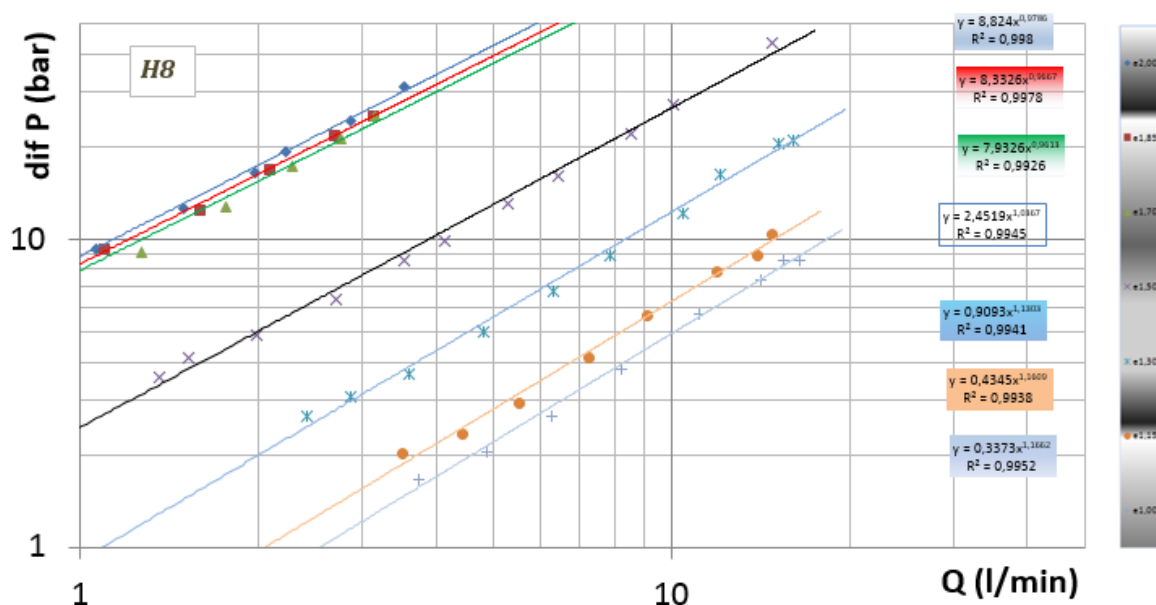
Grafic 1.5 H5



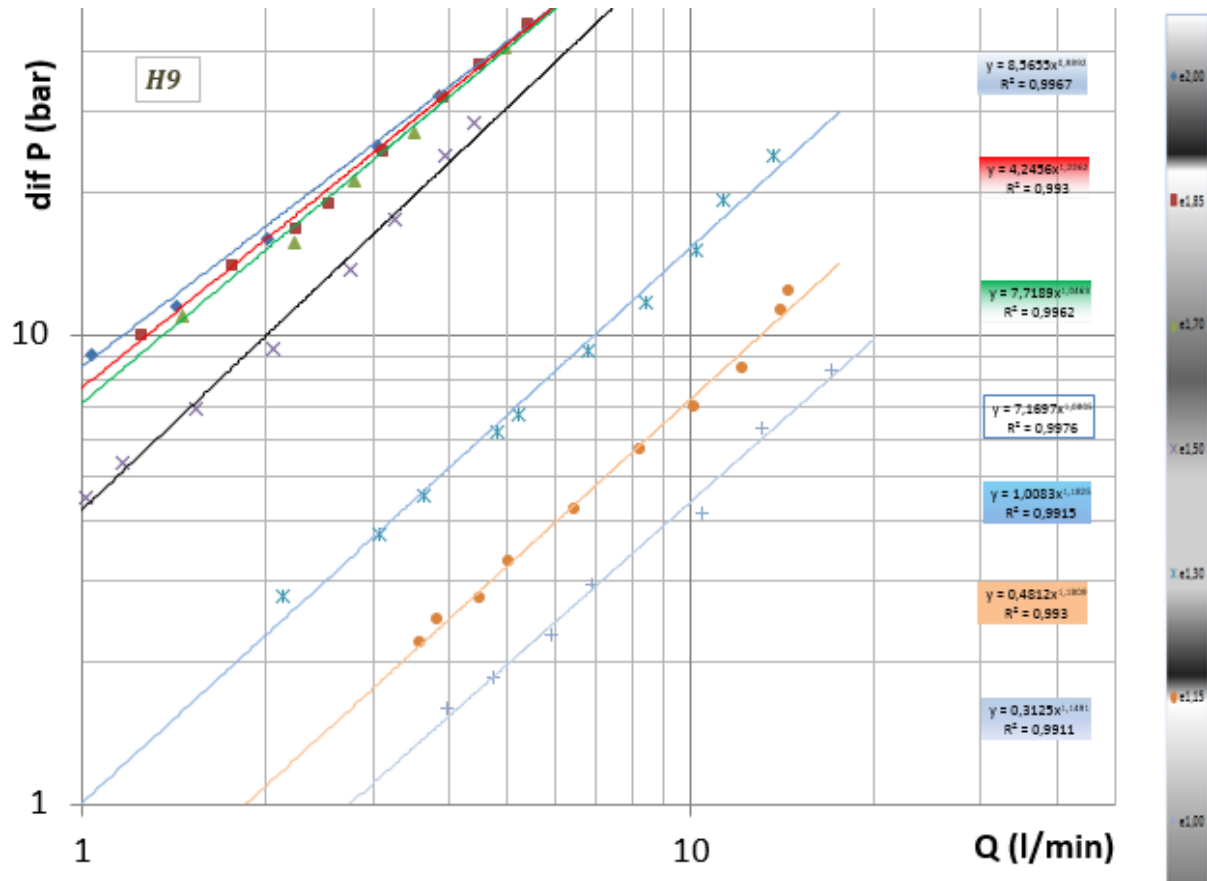
Grafic 1.6 H6



Grafic 1.7 H7



Grafic 1.8 H8



Grafic 1.9 H9

En base a totes aquestes gràfiques podem extreure la següent taula, on es veuen les referències de cada una i l'equació d'ajust que segueix la seva línia de tendència.

	A	B	C	D	E	F	G
1	posicion	posicion axial	ranuras	posicion radial	constante	exponente	coef regresion
2	1	3,7	1	2	0,3924	1,4784	0,99828
3				1,9	0,3646	1,5048	0,99706
4				1,7	0,316	1,4871	0,99764
5				1,5	0,1796	1,3842	0,99761
6				1,3	0,1002	1,4083	0,99608
7				1,2	0,1744	1,1531	0,99237
8				1	0,1286	1,2525	0,99422
9							
10							
11	2	8,2	2	2	2,86	1,0351	0,996
12				1,9	2,8005	1,1013	0,99552
13				1,7	2,1336	1,1929	0,99633
14				1,5	0,5025	1,2078	0,99908
15				1,3	0,2615	1,1511	0,99354
16				1,2	0,1643	1,2531	0,99081
17				1	0,1295	1,346	0,99005
18							
19	3		1	2	3,9854	1,0195	0,99459
20				1,9	3,4539	1,0759	0,99772
21				1,7	3,5563	0,9931	0,99528
22				1,5	1,7464	1,1342	0,99442
23				1,3	0,5885	1,0933	0,99039
24				1,2	0,2665	1,207	0,99349
25				1	0,2368	1,1621	0,98411

	posicion	posicion axial	ranuras	posicion radial	constante	exponente	coef regresion
27	4		2	2	5,4136	0,98	0,99787
28				1,9	4,8674	0,9939	0,99826
29				1,7	3,6511	1,0861	0,99824
30				1,5	1,5374	1,0847	0,99545
31				1,3	0,4785	1,1218	0,99961
32				1,2	0,2305	1,2465	0,99294
33				1	0,1844	1,2368	0,99243
34							
35	5		1	2	3,9131	1,0481	0,9969
36				1,9	3,5257	1,0837	0,996
37				1,7	3,1205	1,1233	0,99777
38				1,5	1,1113	1,1497	0,9971
39				1,3	0,4332	1,1861	0,98721
40				1,2	0,2512	1,1788	0,99061
41				1	0,2056	1,234	0,98544
42							
43	6		2	2	6,8335	0,9481	0,99743
44				1,9	6,1428	0,987	0,99668
45				1,7	5,4688	0,982	0,9967
46				1,5	1,9198	1,0922	0,99517
47				1,3	0,7028	1,1341	0,99492
48				1,2	0,3466	1,1681	0,99568
49				1	0,2631	1,2082	0,99198

	posicion	posicion axial	ranuras	posicion radial	constante	exponente	coef regresion
50							
51	7		1	2	7,1386	0,9616	0,99758
52				1,9	6,4394	0,9728	0,99481
53				1,7	5,6738	1,0021	0,9974
54				1,5	3,0049	1,1398	0,99438
55				1,3	0,9865	1,0591	0,99553
56				1,2	0,4924	1,0733	0,99154
57				1	0,409	1,1021	0,99079
58							
59	8		2	2	8,824	0,9786	0,99805
60				1,9	8,3326	0,9667	0,99779
61				1,7	7,9326	0,9613	0,99259
62				1,5	2,4519	1,0367	0,99452
63				1,3	0,9093	1,1303	0,99405
64				1,2	0,4345	1,1609	0,99377
65				1	0,3373	1,1662	0,99521
66							
67	9		1	2	8,5655	0,9892	0,99675
68				1,9	7,7189	1,0463	0,99622
69				1,7	7,1697	1,0805	0,99762
70				1,5	4,2456	1,2262	0,99301
71				1,3	1,0083	1,1825	0,99152
72				1,2	0,4812	1,1809	0,99295
73				1	0,3125	1,1491	0,9911

Grafic 1.10 referencies

En base a aquestes taules podem calcular els cabals nominals.

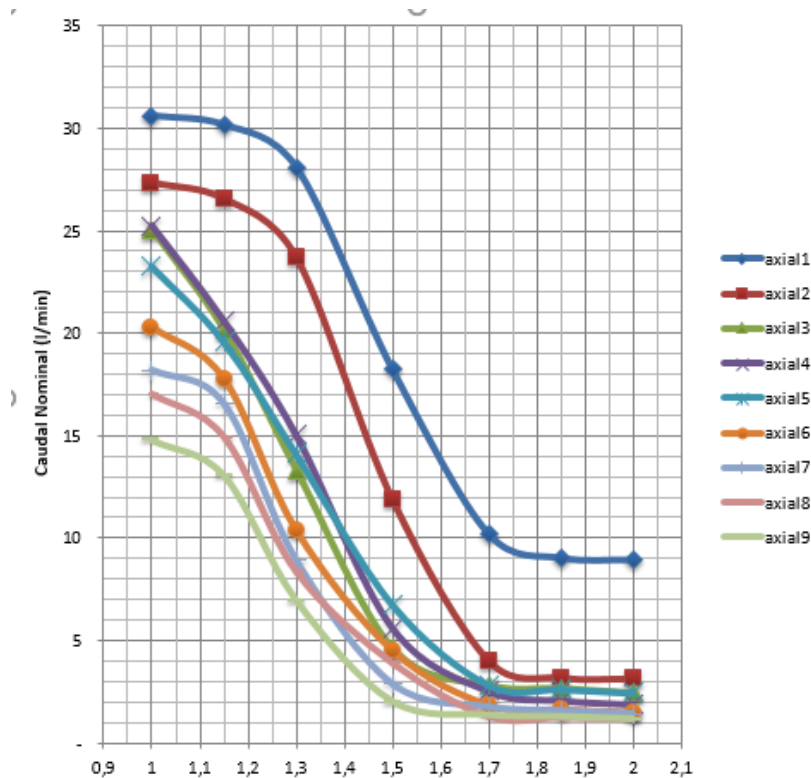
Definim cabal nominal o Q_N com al cabal de pas per una restricció quan la diferència de pressió entre l'entrada i la sortida del fluid es de 10 bar.

Com que tenim la funció de la gràfica, només fixant la diferència de pressió en els 10 bars anteriorment mencionats obtenim Q_N i ,conseqüentment, la següent taula:

V	W	X	Y	Z	AA	AE	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AO
posicion	posicion axial	ranuras	posicion radial		Presion N (bar)	Caudal N (l/min)	posicion	posicion axial	ranuras	posicion radial	Presion N (bar)	Caudal N (l/min)	posicion	posicion axial	ranuras	posicion radial	Presion N (bar)	Caudal N (l/min)	
1	3,7	1	2		10	8,9374051	4		2	2	10	1,8704792	7		1	2	10	1,419818	
			1,85		10	9,03089				1,85	10	2,063584				1,85	10	1,5721695	
			1,7		10	10,206692				1,7	10	2,5286437				1,7	10	1,7603953	
			1,5		10	18,245556				1,5	10	5,6196915				1,5	10	2,8716018	
			1,3		10	28,101883				1,3	10	15,024				1,3	10	8,9078197	
			1,15		10	30,163906				1,15	10	20,58454				1,15	10	16,533891	
			1		10	30,607962				1	10	25,246343				1	10	18,182973	
2	8,2	2	2		10	3,1363465	5		1	2	10	2,4478161	8		2	2	10	1,1363777	
			1,85		10	3,1762884				1,85	10	2,616893				1,85	10	1,2076702	
			1,7		10	4,0236109				1,7	10	2,8200635				1,7	10	1,2724296	
			1,5		10	11,895879				1,5	10	6,7597153				1,5	10	3,8804774	
			1,3		10	23,702631				1,3	10	14,106099				1,3	10	8,3416791	
			1,15		10	26,543521				1,15	10	19,583441				1,15	10	14,901722	
			1		10	27,327996				1	10	23,285209				1	10	17,000992	
3		1	2		10	2,4653938	6		2	2	10	1,4941996	9		1	2	10	1,1694495	
			1,85		10	2,6860867				1,85	10	1,6384044				1,85	10	1,280763	
			1,7		10	2,8321826				1,7	10	1,8488956				1,7	10	1,3606094	
			1,5		10	4,6578527				1,5	10	4,5314667				1,5	10	2,0110644	
			1,3		10	13,343391				1,3	10	10,394738				1,3	10	6,9603362	
			1,15		10	20,151645				1,15	10	17,784422				1,15	10	13,056361	
			1		10	25,053169				1	10	20,306285				1	10	14,78914	

Grafic 1.11 Referències II

Amb tot això a la següent gràfica representem el Q_N en funció de la referència axial (horitzontal).



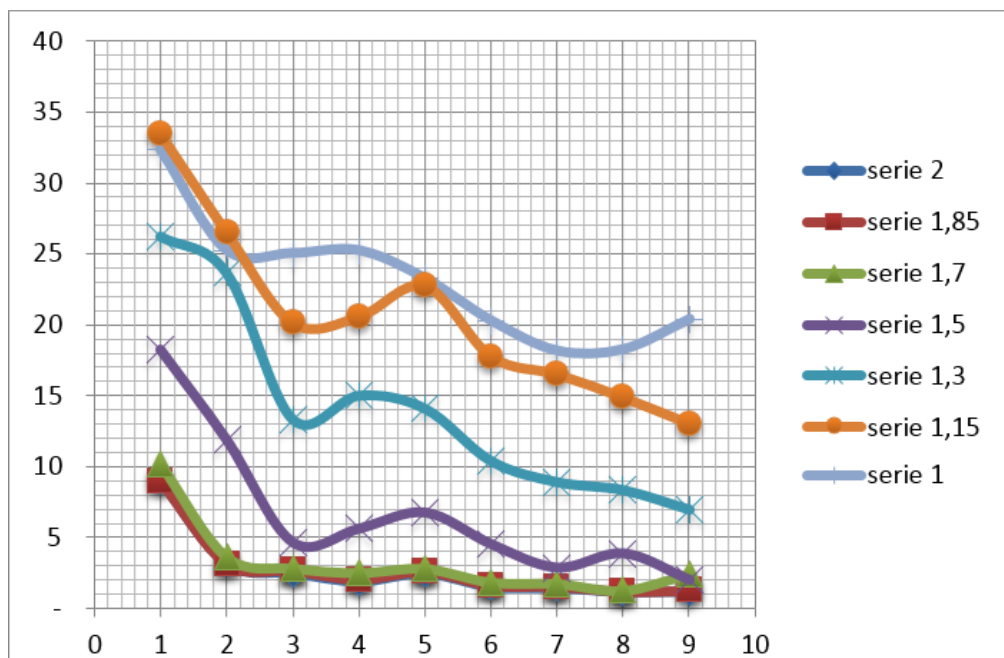
Grafic 1.12 Q_N

Ara fem el mateix, però representant Q_N en funció de la referència axial. Reordenem les dades i aconseguim la següent taula.

K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y
posicion radial	posicion axial	caudal (l/min)		posicion radial	posicion axial	caudal (l/min)		posicion radial	posicion axial	caudal (l/min)		posicion radial	posicion axial	caudal (l/min)
2	1	8,94		1,75	1	10,206692		1,3	1	28,101883		1	1	30,607962
	2	3,14			2	4,0236109			2	23,702631			2	27,327996
	3	2,47			3	2,8321826			3	13,343391			3	25,053169
	4	1,87			4	2,5286437			4	15,024			4	25,246343
	5	2,45			5	2,8200635			5	14,106099			5	23,285209
	6	1,49			6	1,8488956			6	10,394738			6	20,306285
	7	1,42			7	1,7603953			7	8,9078197			7	18,182973
	8	1,14			8	1,2724296			8	8,3416791			8	17,000992
	9	1,17			9	2,452809414			9	6,9603362			9	14,78914
1,90	1	9,03		1,5	1	18,245556		1,15	1	30,163906				
	2	3,18			2	11,895879			2	26,543521				
	3	2,69			3	4,6578527			3	20,151645				
	4	2,06			4	5,6196915			4	20,58454				
	5	2,62			5	6,7597153			5	19,583441				
	6	1,64			6	4,5314667			6	17,784422				
	7	1,57			7	2,8716018			7	16,533891				
	8	1,21			8	3,8804774			8	14,901722				
	9	1,28			9	2,0110644			9	13,056361				

Grafic 1.13 Referencies III

Ara representem aquestes dades i obtenim el següent gràfic de cabal nominal en funció de la referència radial.



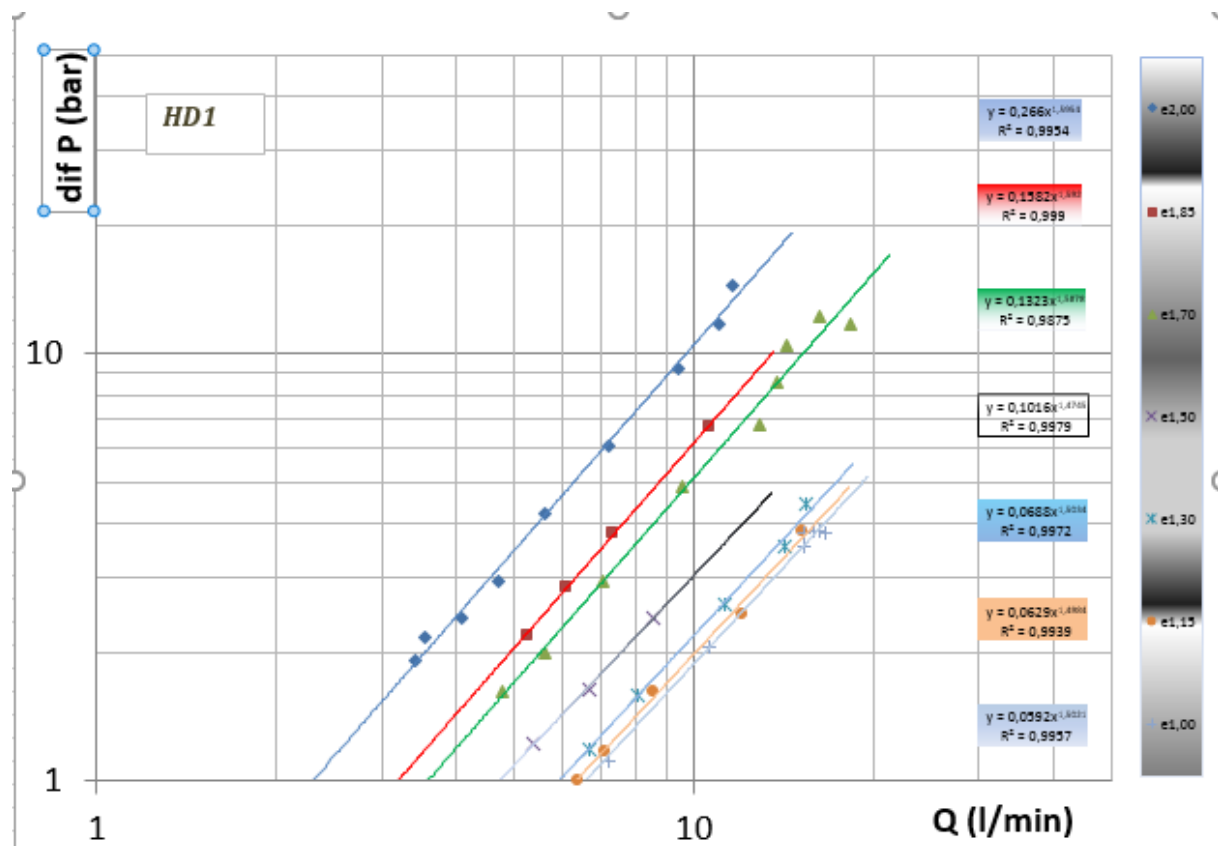
Grafic 1.14 Qn II

RANURES VARIADES:

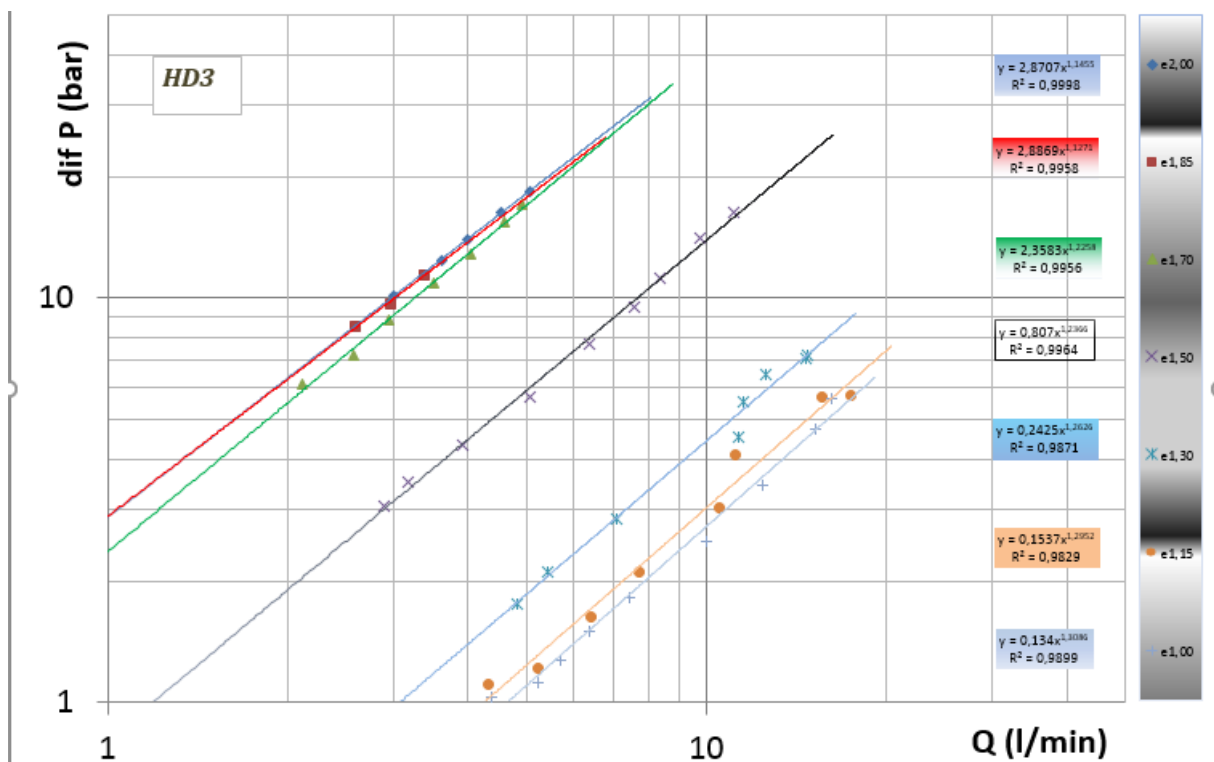
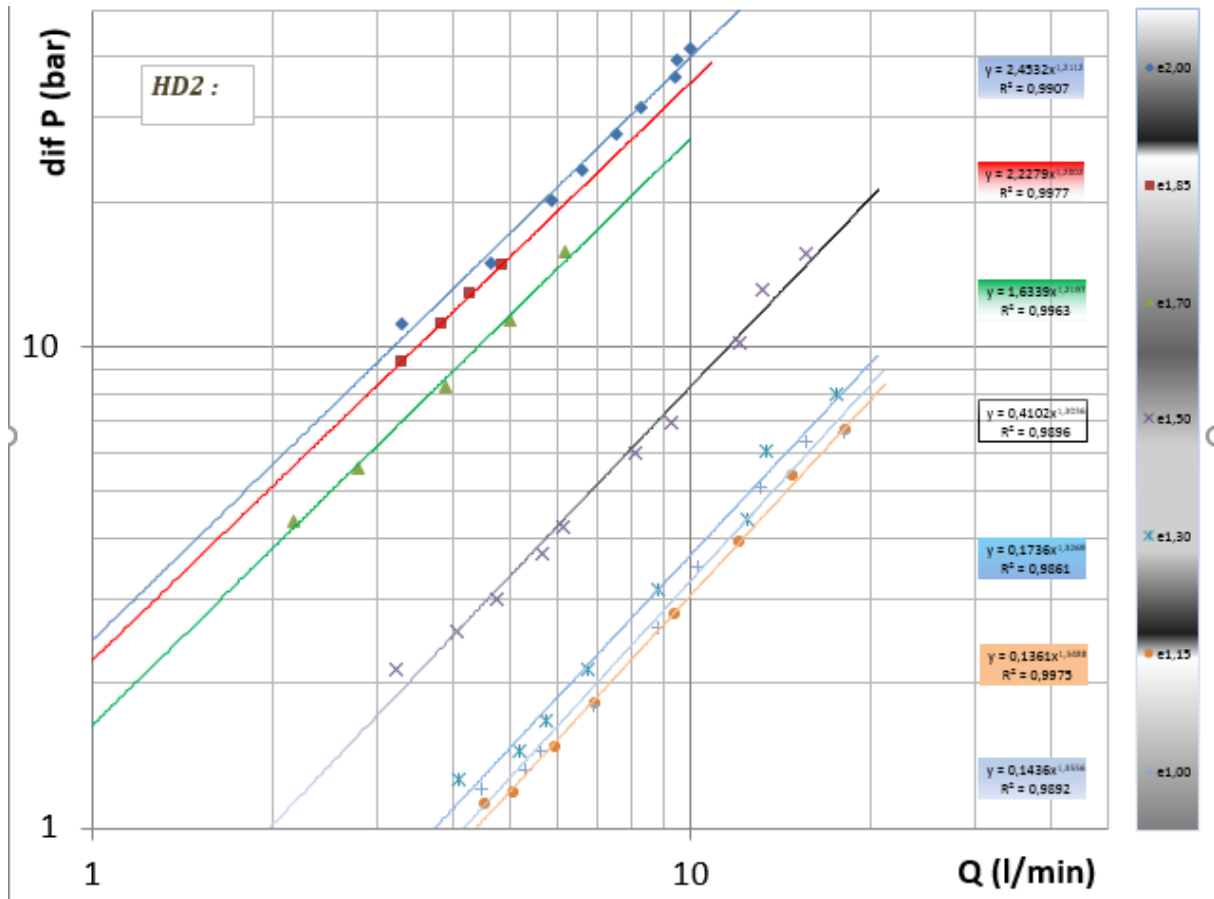
pisto amb ranures variades		Referència horitzontal								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Lref(mm)		3,7	5,95	8,2	10,45	12,7	14,95	17,2	19,45	21,7
L*(mm)		-0,8	1,45	3,7	5,95	8,2	10,45	12,7	14,95	17,2
Ref axial	Joc(mm)									
2	0	HD1_2	HD2_2	HD3_2	HD4_2	HD5_2	HD6_2	HD7_2	HD8_2	HD9_2
1,85	0	HD1_1,85	HD2_1,85	HD3_1,85	HD4_1,85	HD5_1,85	HD6_1,85	HD7_1,85	HD8_1,85	HD9_1,85
1,7	0,1	HD1_1,7	HD2_1,7	HD3_1,7	HD4_1,7	HD5_1,7	HD6_1,7	HD7_1,7	HD8_1,7	HD9_1,7
1,5	0,3	HD1_1,5	HD2_1,5	HD3_1,5	HD4_1,5	HD5_1,5	HD6_1,5	HD7_1,5	HD8_1,5	HD9_1,5
1,3	0,5	HD1_1,3	HD2_1,3	HD3_1,3	HD4_1,3	HD5_1,3	HD6_1,3	HD7_1,3	HD8_1,3	HD9_1,3
1,15	0,6	HD1_1,15	HD2_1,15	HD3_1,15	HD4_1,15	HD5_1,15	HD6_1,15	HD7_1,15	HD8_1,15	HD9_1,15
1	0,6	HD1_1	HD2_1	HD3_1	HD4_1	HD5_1	HD6_1	HD7_1	HD8_1	HD9_1

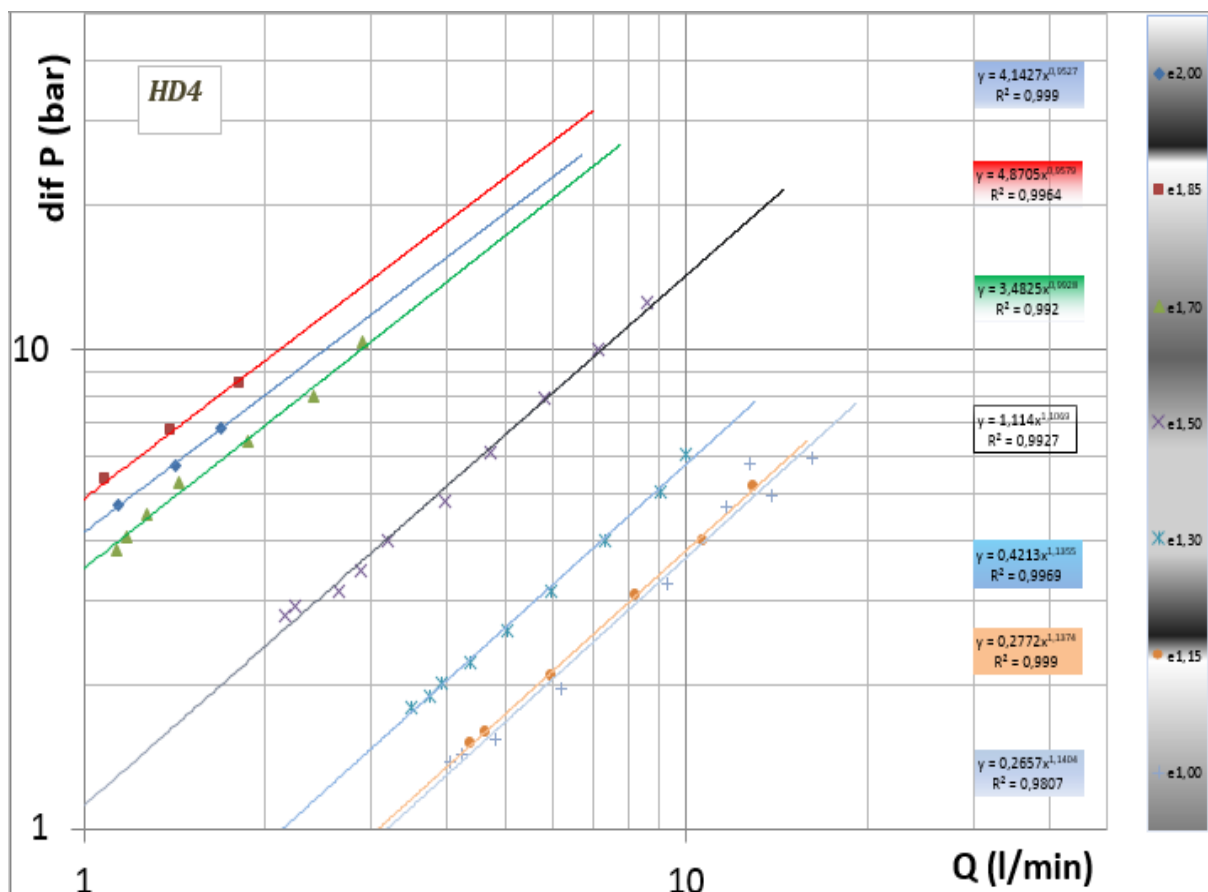
Taula 2.2 Referències ranures variades

Aquestes són les gràfiques corresponents a cada una de les posicions a estudiar amb la configuració de ranures variades.

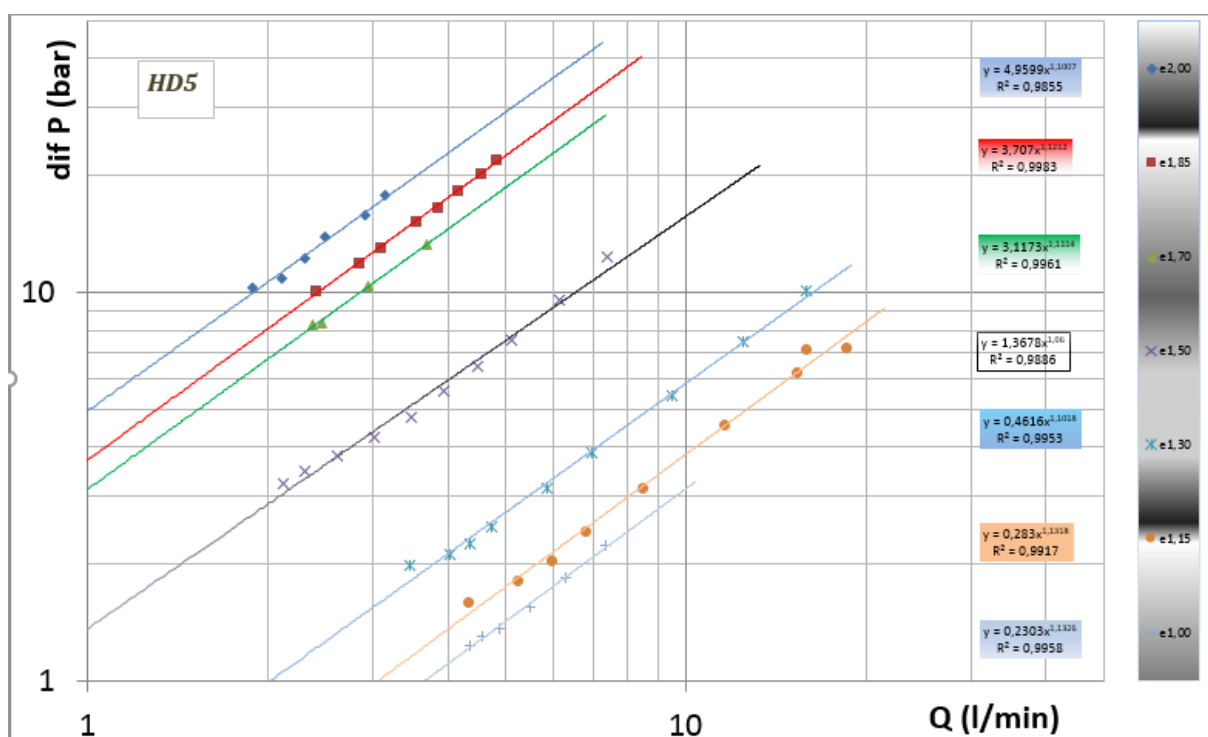


Gràfic 2.1 HD1

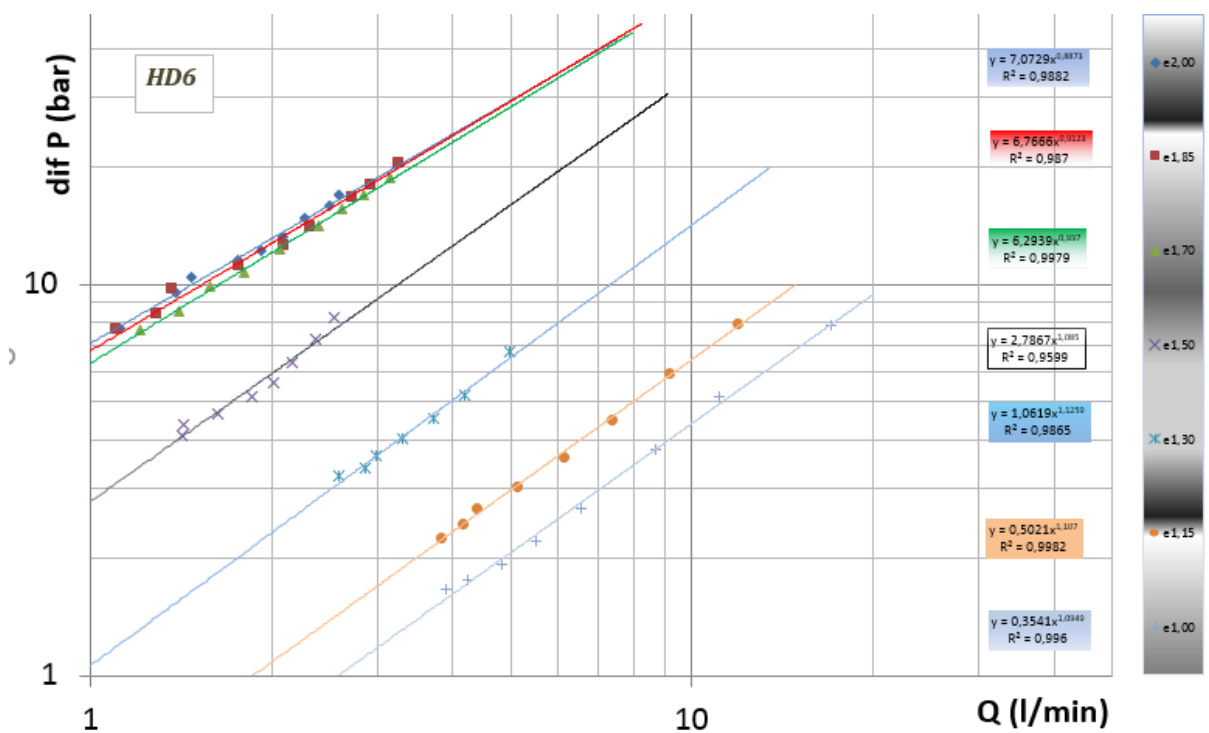




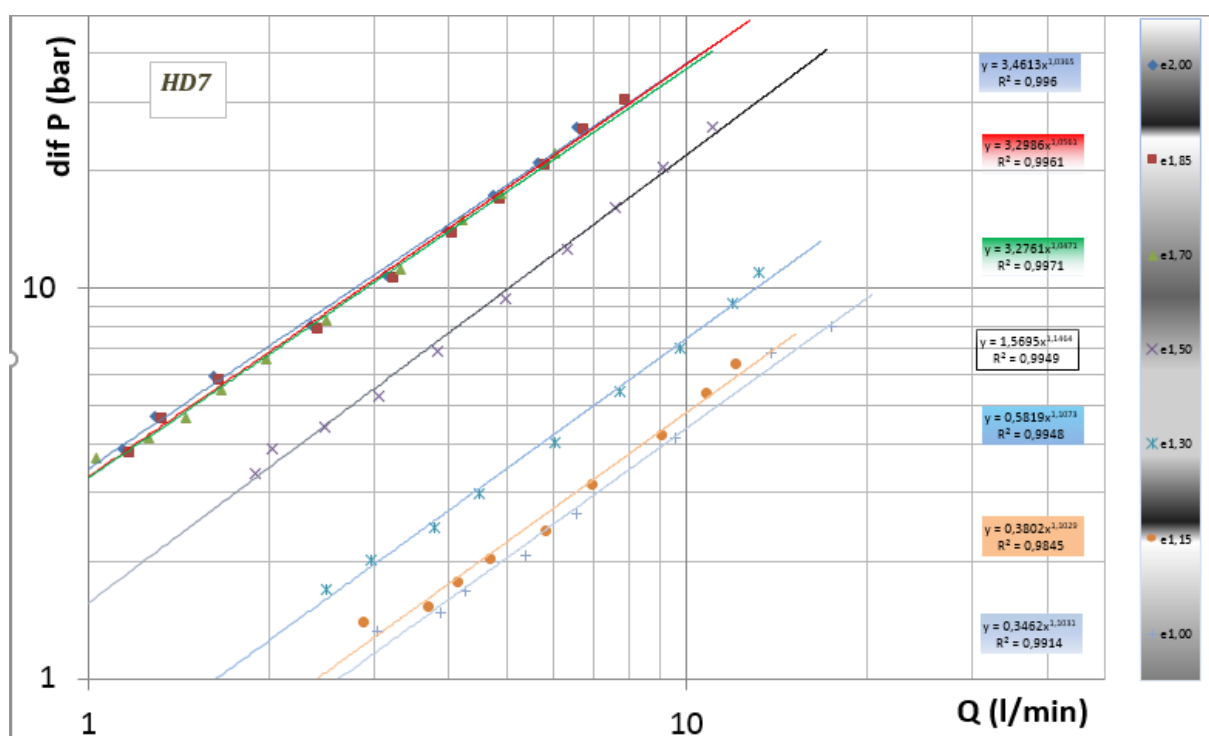
Grafic 2.4 HD4



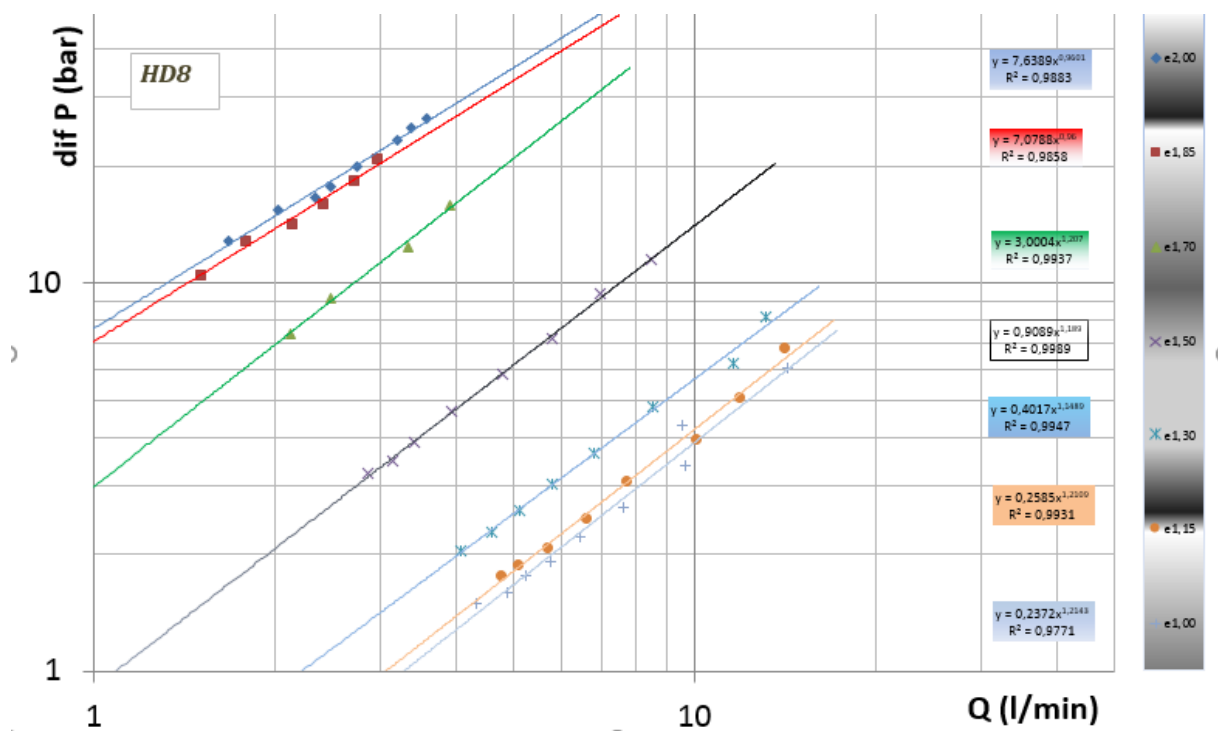
Grafic 2.5 HD5



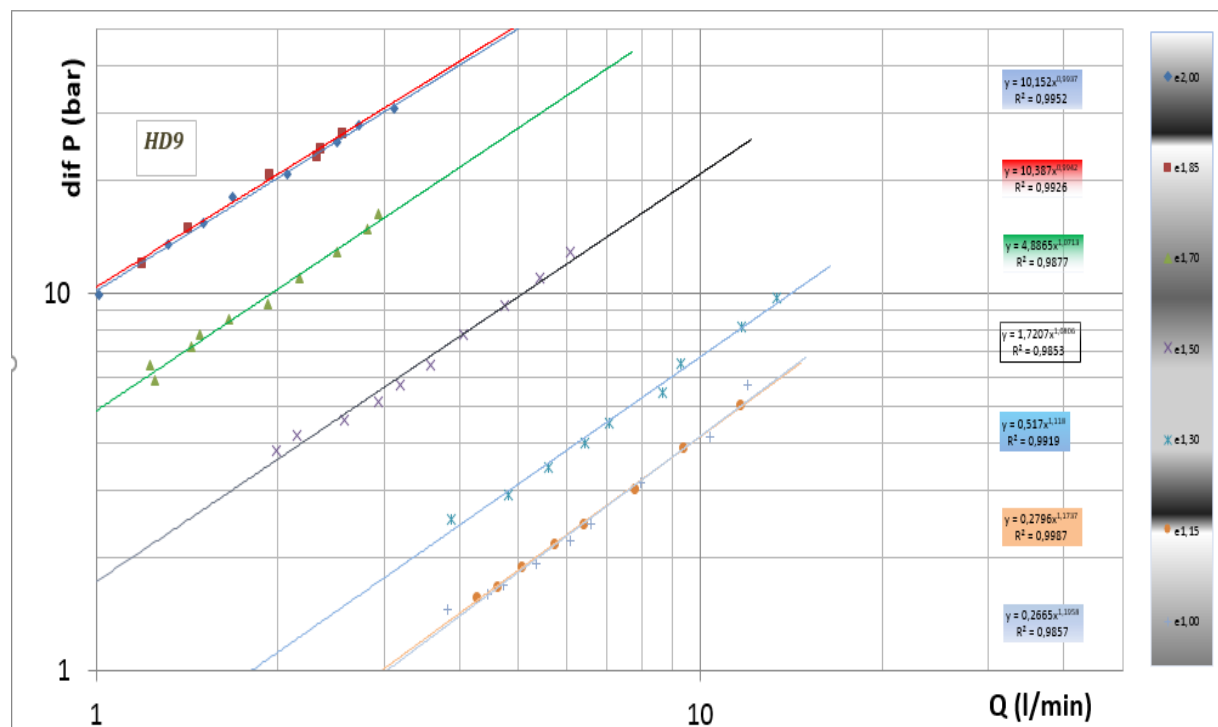
Grafic 2.6 HD6



Grafic 2.7 HD7



Grafic 2.8 HD8



Grafic 2.9 HD9

En base a totes aquestes gràfiques podem extreure la següent taula, on es veuen les referències de cada una i l'equació d'ajust que segueix la seva línia de tendència.

posicion	posicion axial	ranuras	ecuacion de ajuste				posicion	posicion axial	ranuras	ecuacion de ajuste				posicion	posicion axial	ranuras	ecuacion de ajuste			
			posicion radial	constante	exponente	coef regresion				posicion radial	constante	exponente	coef regresion				posicion radial	constante	exponente	coef regresion
1	3,7	1	2	0,266	1,5954	0,9954	3		1	2	2,8707	1,1455	0,9979	5		1	2	4,9599	1,1007	0,9862
			1,85	0,1582	1,592	0,9828				1,85	2,8869	1,1271	0,9962				1,85	3,707	1,1212	0,9943
			1,7	0,1323	1,6291	0,9891				1,7	2,3583	1,2258	0,9914				1,7	3,1173	1,114	0,9956
			1,5	0,1016	1,4745	0,9844				1,5	0,807	1,2366	0,9909				1,5	1,3678	1,06	0,9886
			1,3	0,0688	1,5034	0,9917				1,3	0,2425	1,2626	0,9867				1,3	0,4616	1,1018	0,9953
			1,15	0,0629	1,4984	0,9887				1,15	0,1537	1,2952	0,9829				1,15	0,283	1,1318	0,9917
			1	0,0592	1,5021	0,9934				1	0,134	1,3086	0,9899				1	0,2303	1,1326	0,9905
2	8,2	2	2	2,4532	1,2112	0,9907	4		2	2	4,1427	0,9527	0,9927	6		2	2	7,0729	0,8873	0,9882
			1,85	2,2279	1,2002	0,9961				1,85	4,8705	0,9579	0,9983				1,85	6,7666	0,9123	0,987
			1,7	1,3339	1,2197	0,9936				1,7	3,4825	0,9928	0,9912				1,7	6,2939	0,937	0,9974
			1,5	0,412	1,3036	0,9896				1,5	1,114	1,1069	0,9927				1,5	2,7867	1,085	0,9536
			1,3	0,1736	1,3269	0,9861				1,3	0,4213	1,1355	0,9969				1,3	1,0619	1,1259	0,955
			1,15	0,1361	1,3488	0,9975				1,15	0,2727	1,1374	0,9847				1,15	0,5021	1,107	0,9909
			1	0,1236	1,3556	0,9892				1	0,2657	1,1404	0,9807				1	0,3541	1,0949	0,996

Grafic 2.10 Referències (Variades)

En base a aquestes taules podem calcular els cabals nominals.

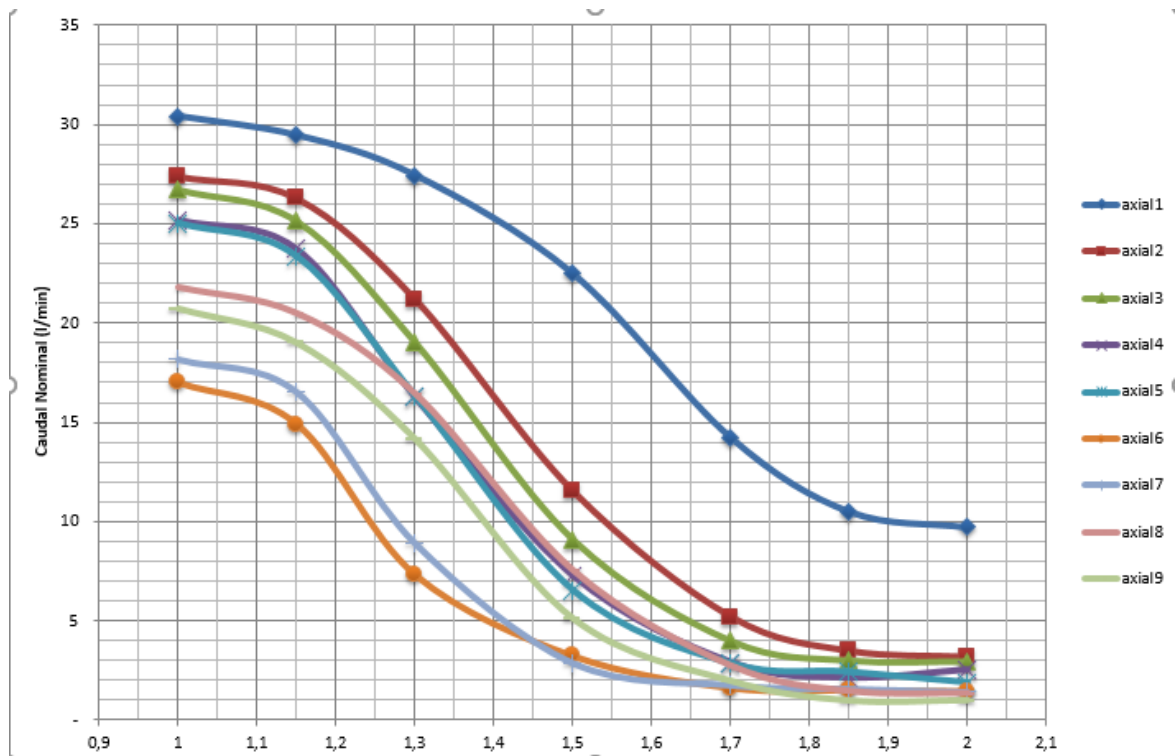
Definim cabal nominal o Q_N com al cabal de pas per una restricció quan la diferència de pressió entre l'entrada i la sortida del fluid es de 10 bar.

Com que tenim la funció de la gràfica, només fixant la diferència de pressió en els 10 bars anteriorment mencionats obtenim Q_N i, conseqüentment, la següent taula:

posicion	ranuras	posicion radial	Presion N (bar)	Caudal N (l/min)	posicion	ranuras	posicion radial	Presion N (bar)	Caudal N (l/min)	posicion	ranuras	posicion radial	Presion N (bar)	Caudal N (l/min)
1	1	2	10	9,7115249	4	2	2	10	2,5218414	7	1	2	10	1,419818
		1,85	10	10,5			1,85	10	2,1191304			1,85	10	1,5721695
		1,7	10	14,225054			1,7	10	2,8935513			1,7	10	1,7603953
		1,5	10	22,47588			1,5	10	7,262176			1,5	10	2,8716018
		1,3	10	27,437684			1,3	10	16,265975			1,3	10	8,9078197
		1,15	10	29,453256			1,15	10	23,73246			1,15	10	16,533891
		1	10	30,411833			1	10	25,2			1	10	18,182973
2	2	2	10	3,1904595	5	1	2	10	1,8908921	8	2	2	10	1,3238238
		1,85	10	3,4940547			1,85	10	2,4232009			1,85	10	1,4331513
		1,7	10	5,21541			1,7	10	2,8471987			1,7	10	2,7111733
		1,5	10	11,548387			1,5	10	6,5324037			1,5	10	7,5150631
		1,3	10	21,219699			1,3	10	16,304971			1,3	10	16,411971
		1,15	10	26,3			1,15	10	23,330364			1,15	10	20,466375
		1	10	27,4			1	10	25			1	10	21,775812
3	1	2	10	2,9728053	6	2	2	10	1,4774262	9	1	2	10	0,9849334
		1,85	10	3,0110822			1,85	10	1,5343912			1,85	10	0,9625287
		1,7	10	4			1,7	10	1,6390793			1,7	10	1,9512075
		1,5	10	9,1			1,5	10	3,2466658			1,5	10	5,0966812
		1,3	10	19,025449			1,3	10	7,3284384			1,3	10	14,148944
		1,15	10	25,120924			1,15	10	14,915274			1,15	10	19
		1	10	26,7			1	10	17			1	10	20,726541

Grafic 2.11 Referències II(Variades)

Amb tot això a la següent gràfica representem el Q_N en funció de la referència axial (horitzontal).



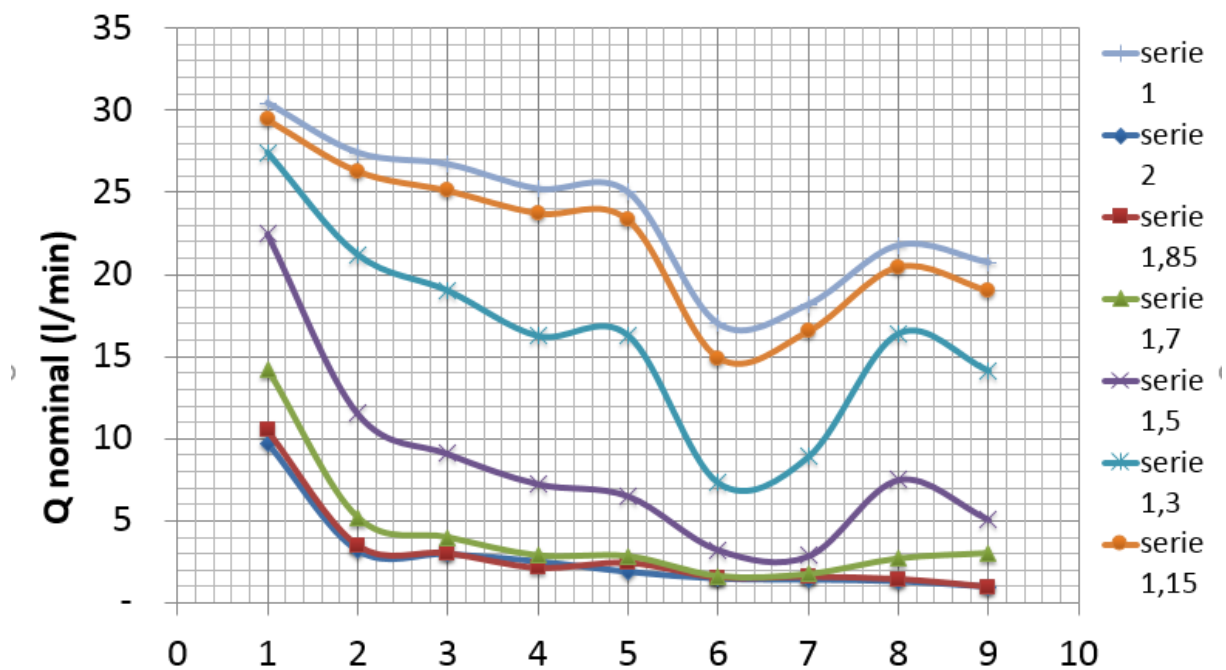
Gràfic 2.12 Q_n (Variades)

Ara fem el mateix, però representant Q_N en funció de la referència axial. Reordenem les dades i aconseguim la següent taula.

posicion radial	posicion axial	caudal (l/min)	posicion radial	posicion axial	caudal (l/min)	posicion radial	posicion axial	caudal (l/min)
2	1	9,7115249	1,7	1	14,225054	1,3	1	27,437684
	2	3,1904595		2	5,21541		2	21,219699
	3	2,9728053		3	4		3	19,025449
	4	2,5218414		4	2,8935513		4	16,265975
	5	1,8908921		5	2,8471987		5	16,304971
	6	1,4774262		6	1,6390793		6	7,3284384
	7	1,419818		7	1,7603953		7	8,9078197
	8	1,3238238		8	2,7111733		8	16,411971
	9	0,9849334		9	3,0362075		9	14,148944
1,85	1	10,5	1,5	1	22,47588	1,15	1	29,453256
	2	3,4940547		2	11,548387		2	26,3
	3	3,0110822		3	9,1		3	25,120924
	4	2,1191304		4	7,262176		4	23,73246
	5	2,4232009		5	6,5324037		5	23,330364
	6	1,5343912		6	3,2466658		6	14,915274
	7	1,5721695		7	2,8716018		7	16,533891
	8	1,4331513		8	7,5150631		8	20,466375
	9	0,9625287		9	5,0966812		9	19

Gràfic 2.13 Referències III(Variades)

Ara representem aquestes dades i obtenim el següent gràfic de cabal nominal en funció de la referència radial.

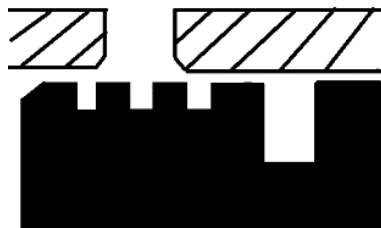


Gràfic 2.14 Qn II(Variades)

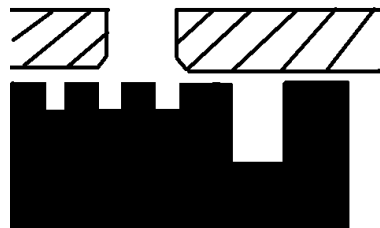
1.6 Conclusions

1.6.1 Conclusions tècniques

- Si observem les gràfiques de H1..H9 i HD1..HD9, veiem que son rectes (en escala logarítmica) i que totes tenen un pendent molt similar entre elles i al voltant de 1, això ens indica que ens trobem en règims laminars, cosa que correspon amb les nostres expectatives.
- Les rectes obtingudes semblen congruents amb les equacions trobades al model teòric, això ho podem veure en el fet que la distancia entre les rectes esta clarament relacionada amb els jocs de cada una, hi ha la mateixa distancia entre la rectes de joc 0,6 i la de 0,3 que entre les de 0'3 i 0.1 i entre la de 0'3 i la de 0'1 sembla haver-hi una distancia similar que la que hi ha entre 0'3 i 0'5.
El seu comportament es podria explicar per les equacions de flux entre plaques.
- En les gràfiques Q_N/axial es pot apreciar en totes les rectes de posicions amb poc joc (espai limitat entre pistó i forat) que l'efecte de les ranures es important, això s'aprecia en l'oscil·lació que tenen, tenint en compte que entre posicions consecutives passa d'haver-hi 3 ranures que afecten a la sortida del fluid a dues.



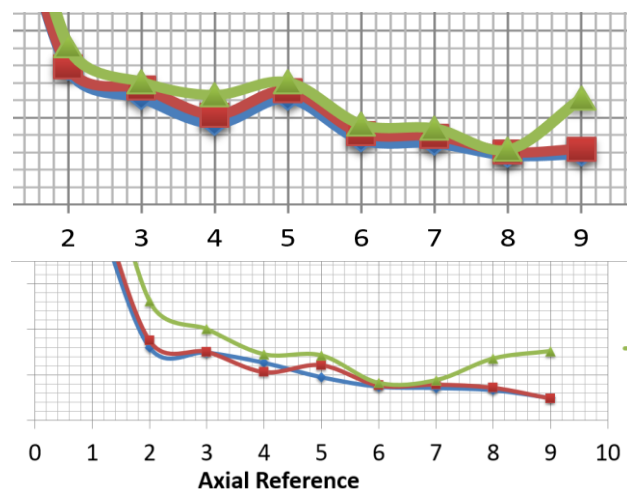
Conclusions 1. 3 ranures (posicions imparells)



Conclusions 2. 2ranures (posicions parells)

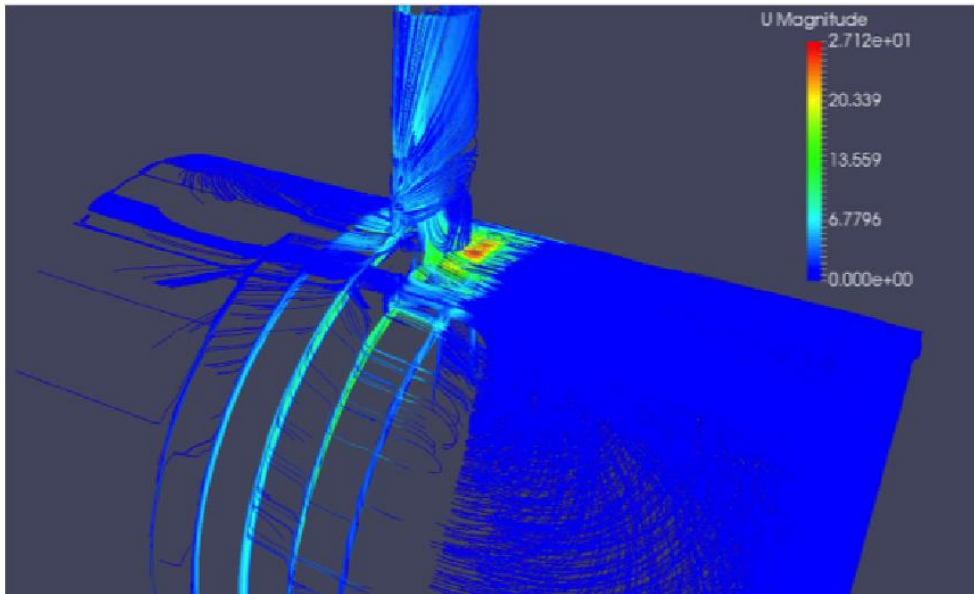
A la imatge superior (esquerra) es veu clarament com quan la ranura està al centre d l'orifici de sortida 3 ranures tenen importància a la sortida del fluid, mentre que a les posicions parells (dreta) son dues les ranures que cobren importància. Això passa en ambos casos, tant ranures iguals com variades.

Aquí una mostra de l'oscil·lació mencionada:



Conclusions 3. Mostra d'oscil·lació de ranures igual (adalt) i variades (abaix)

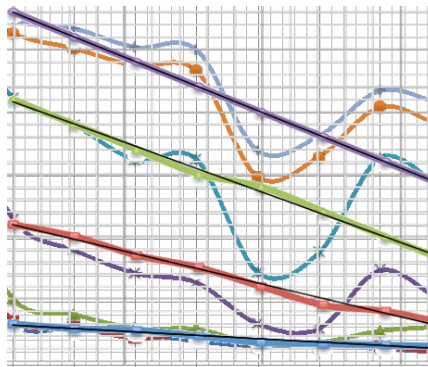
- Això ens fa pensar que en aquests moments el fluid es comporta de la següent manera:



Conclusions 4. Simulació fluid

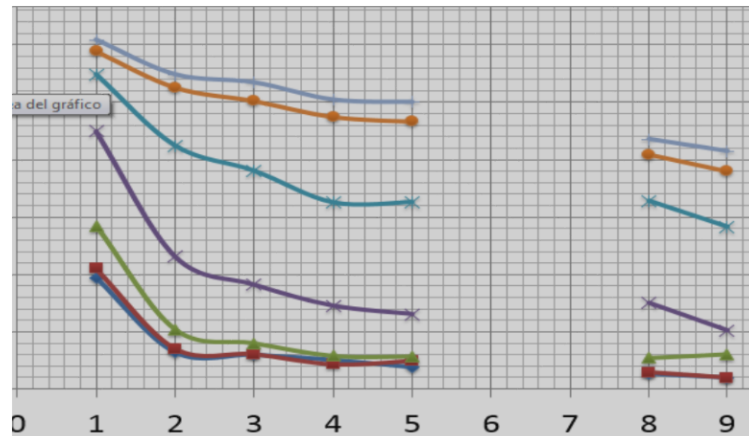
Evacuant el fluid per les ranures ja que es mes fàcil que aquest passi per l'espai de sota i entri a les ranures i evacuï per allà, que no pas que passi entre la part superior del pistó i l'orifici de sortida del fluid (casos de poc joc).

- Donada la dificultat de mantenir el joc precís al muntar hi ha alguns punts on hi ha una gran variabilitat en els resultats, ho podem veure aquí, on els punts 6 i 7 tenen algun tipus d'error, probablement produït per algun tipus d'obstrucció per alguna petita partícula.



Conclusions 5. Mostra error

Si els eliminem veiem clarament la tendència.



Conclusions 6. Tendència

- Per últim i més important no podem afirmar que es vegin de manera significativa canvis prou importants entre les geometries de ranures iguals i ranures variades, això no vol dir que la premissa del treball no sigui correcta ni que el fluid es comporti igual amb les diferents geometries, seria necessari profunditzar més i realitzar més experiments per poder afirmar si el nostre disseny de geometria variada és efectiu.

1.6.2 Conclusions pròpies de l'estudiant

- Gracies a aquest treball he pogut apreciar l'esforç i el treball de treballar en un laboratori, de fer recerca i experimentació i això ha estat una experiència molt enriquidora.
- He après molt de disseny i he vist la problemàtica de dissenyar per una feina sense haver-la realitzat abans, he comès errors que no tornaria a cometre simplement pel fet que ara ja ho he treballat amb les mans i per mi mateix.
- El fet de dependre de proveïdors externs i de subcontractar feines a alterat els *timings* inicialment plantejats, fins al punt d'haver hagut de demanar la pròrroga per a poder finalitzar el projecte, sent un dels factors més determinants el fet d'haver hagut d'esperar per a l'aprovació del pressupost i per a l'entrega de les peces del prototip més d'un més.
- El fet de fer un treball pràctic i de camp ha estat una experiència nova i que m'ha donat un tast del món professional, considero això molt positiu.
- M'ha servit també per consolidar els conceptes apresos a la carrera així com també per veure la part pràctica de la teoria apresada.

2 Bibliografia

Al ser aquest un estudi propi i experimental no hi ha hagut un gran nombre de referències bibliogràfiques, no obstant no podem deixar de mencionar algun llibre, web i treball usats durant el seu transcurs.

Llibres

Juan Luis Gonzalez Santander. “**Fundamentos de mecànica de fluidos**” 1a ed. 2014

Luis Jiménez Balboa. “**PRONTUARIO DE AJUSTES Y TOLERANCIAS**” Marcombo,1967

Treballs

Alemany, Ignasi, “*Estudi del comportament d’un actuator lineal per minicargadores*” Departament de Mecanica de fluids, UPC Terrassa. 2017

Altres documents interns de Labson (NO PUBLICATS)

Web

Vikipèdia, <https://ca.wikipedia.org/wiki/Viquip%C3%A8dia>, visitada per últim cop el 29/04/2019

Roquet, <http://www.pedro-roquet.com/>, visitada per últim cop el 23/04/2019

Epidor, <https://epidor.com/>, visitada per últim cop el 20/03/2019